

GENÉTICA Y MEJORAMIENTO VEGETAL

Phenolic acid content in wheat grain (*Triticum spp*) of different genotypes. *Contenido de ácido fenólico (*Triticum spp*) de diferentes granos de trigo.* D. Kurasiak-Popowska, K. Stuper-Szablewska, J. Nawracała, A. Tomkowiak, J. Perkowski. p. 1.

Caracterización de progenitores de papa en base a aptitud combinatoria y heterosis para la búsqueda de resistencia a *Phytophthora infestans*. *Characterization of potato parents based on combining ability and heterosis for searching resistance to *Phytophthora infestans*.* A. J. Andrade, S. B. Capezio, M. A. Huarte. p. 9.

Método de selección en explantes *in vitro* de *Opuntia* spp. con resistencia a la mancha negra causada por *Pseudocercospora opuntiae*. *In vitro selection method in explants of *Opuntia* spp. with resistance to black spot caused by *Pseudocercospora opuntiae*.* M. J. Ochoa, L. Rivera-López, J. F. Gómez-Leyva. p. 21.

ECOFISIOLOGÍA Y MANEJO DE CULTIVOS

Sapling growth, water status and survival of two natives shrubs from the Monte Desert, Mendoza, Argentina, under different preconditioning treatments. *Crecimiento, estado hídrico y supervivencia de plantines de dos arbustos nativos del Desierto del Monte, Mendoza, Argentina, sometidos a diferentes tratamientos de precondicionamiento.* M. E. Fernández, C. B. Passera, M. A. Cony. p. 33.

Parametrización del modelo CROPGRO-soybean y su uso como herramienta para evaluar el impacto del cambio climático sobre el cultivo de soja. *Parameterization of CROPGRO-soybean model and its use as a tool to assess the impact of climate change on the soybean crop.* A. Confalone, C. Vilatte, L. Lázaro, N. Roca, S. Mestelan, L. Aguas, M. Navarro, F. Sau. p. 49.

Estudio de las prestaciones de cabezales arroceros con sistema draper. *Study of performance of rice with system draper heads.* R. Hidalgo, O. Pozzolo, E. Serafini, F. Domínguez, J. Beltramino, G. Botta. p. 65.

Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina. *Soil compaction induced by machinery at polo fields in Argentina.* D. A. Laureda, G. F. Botta, A. Tolón Becerra, H. G. Rosatto. 79.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Modelo de ahumamiento para *Eucalyptus nitens*, en suelos de cenizas volcánicas de la región de La Araucanía (Chile). *Taper model for *Eucalyptus nitens*, in volcanic ash soils of the region of The Araucanía (Chile).* A. Rodríguez-Toro, R. Rubilar-Pons, F. Muñoz- Sáez, E. Cártes-Rodríguez, E. Acuña-Carmona, J. Cancino-Cancino. p. 101.

Contribution of *Amyntas gracilis* (Megascolecidae) and *Octolasion cyaneum* (Lumbricidae) to soil physical stability: a mesocosm experiment. *Contribución de *Amyntas gracilis* (Megascolecidae) y de *Octolasion cyaneum* (Lumbricidae) a la estabilidad física del suelo: una experiencia en mesocosmos.* L. Falco, C. Coviella. p. 115.

Diagnóstico ambiental en la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe. *Environmental diagnosis in the farming belt of Santa Fe city.* A. Durán, M. Paris, M. I. Maitre, F. Marino. p. 129.

Multielemental composition and nutritional value of “dumosa” (*Ilex dumosa*), “yerba mate” (*I. paraguariensis*) and their commercial mixture in different forms of use. *Composición multielemental y valor nutricional de “dumosa” (*Ilex dumosa*), “yerba mate” (*I. paraguariensis*) y su mezcla comercial en diferentes formas de uso.* M. G. Maiocchi, L. A. Del Vitto, M. E. Petenatti, E. J. Marchevsky, M. V. Avanza, R. G. Pellerano, E. M. Petenatti. p. 145.

Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. *Green and blue water footprint of corn (*Zea mays*) production in central and northeastern provinces of Argentina.* A. Alvarez, J. A. Morábito, C. Schilardi. p. 161.

Evaluación de sustentabilidad de un modelo extensivo de cría bovina en Mendoza, Argentina. *Sustainability assessment of an extensive cow-calf model in Mendoza, Argentina.* S. Otta, J. Quiroz, E. Juaneda, J. Salva, M. Viani, M. F. Filippini. p. 179.

Problemáticas del cambio climático en la ciudad autónoma de Buenos Aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica. *Climate change difficulties in the Buenos Aires city contribution of green roofs in regulating the thermal change.* H. Rosatto, G. F. Botta, A. Tolón Becerra, H. Tardito, M. Leveratto. p. 197.

PROTECCIÓN VEGETAL

Efecto nematocida de extractos de ajo, orujo de uva y alperujo de aceituna; sobre *Meloidogyne incognita*, en vid, cv Chardonnay. *Nematicidal effects of extracts of garlic, grape pomace and olive mill waste, on *Meloidogyne incognita*, on grapevine cv Chardonnay.* M. D. Martinotti, S. J. Castellanos, R. González, A. Camargo, M. Fanzone. p. 211.

TECNOLOGÍAS AGROINDUSTRIALES

Estabilización tartárica en vinos: comparación entre electrodiálisis y tratamiento de frío por contacto. *Tartaric stabilization of wines: comparison between electrolysis and cold by contact.* S. Violeta Corti, S. C. Paladino. p. 225.

PERSPECTIVAS

Varietades criollas, una oportunidad para el pisco de Chile. *Native varieties, an opportunity for Chilean pisco.* P. Pszczółkowski, P. Lacoste. p. 239.

Normas para la presentación de artículos. p. 241.

Nº 1 Año 2016

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias

Tomo 48

En ISI & SCOPUS



Bicentenario de la Independencia Argentina

Revista de la
**FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS**
Universidad Nacional de Cuyo



Tomo 48
Nº 1 Año 2016
ISSN impreso 0370-4661
ISSN on-line 1853-8665

**MENDOZA
ARGENTINA**



Universidad Nacional de Cuyo
Rector
Prof. Ing. Agr. Daniel Pizzi



Facultad de Ciencias Agrarias
Decana
Prof. Ing. Agr. Concepción Arjona

Directora científica

Dra. Ing. Agr. María Flavia Filippini (UNCUYO, Argentina)

Editora asistente

Prof. Ing. Agr. Adriana I. Caretta (UNCUYO, Argentina)

Editores asociados

Dra. Adriana Abril (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Dr. Edmundo Bordeu (Pontificia Universidad Católica, Chile)

Dr. Ing. Agr. Guido Fernando Botta (Universidad Nacional de Luján, Argentina)

Dr. Marcelo Cabido (IMBIV-Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. Juan Bruno Cavagnaro (UNCUYO, CONICET, Argentina)

Dra. Edi Defrancesco (Università degli Studi di Padova, Italia)

Dr. Pablo Delgado Sánchez (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México)

Dr. José Díaz Osorio (Universidad de Talca, Chile)

Dr. Ing. Agr. Alejandro J. Gennari (UNCUYO, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Alberto Daniel Golberg (Universidad Nacional de La Pampa, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Ricardo W. Masuelli (UNCUYO, INTA, CONICET, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. José Morábito (UNCUYO, INA, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Hernán Ojeda (Agro-Montpellier, Francia)

Dra. Marta Paris (Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Pablo H. Pizzuolo (UNCUYO, Argentina)

Dr. Enrique Sánchez (INTA, Argentina)

Dr. Hernán Vila (INTA, Argentina)

Dr. Pablo Villagra (UNCUYO, CONICET, Argentina)

Dr. Eduardo G. Virla (PROIMI-Biotecnología, CONICET, Argentina)

Comité editor

Dr. Jorge Alcalá Jáuregui (Universidad Autónoma San Luis Potosí, México)

Dra. Mónica Balzarini (UNCórdoba, CONICET, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. Mónica Bauzá (UNCUYO, Argentina)

Dra. Mónica Bertiller (Centro Nacional Patagónico, CENPAT, Argentina)

Dr. Luis Del Vitto (Universidad Nacional de San Luis, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Claudio Galmarini (UNCUYO, CONICET, INTA, Argentina)

Ing. Agr. Juan Carlos Guevara (UNCUYO, CONICET, Argentina)

M.Sc. Ing. Agr. Víctor Lipinski (UNCUYO, INTA, Argentina)

Prof. Luis López Valladares (Universidad de Chile, Santiago de Chile)

Dr. Luis Marone (UNCUYO, CONICET, Argentina)

Dra. Ing. Agr. Liliana E. Martínez (UNCUYO, Argentina)

Dr. Ferdinando Pimpini (Università degli Studi di Padova, Italia)

Ing. Agr. José Rodríguez (UNCUYO, Argentina)

Dr. José Roldán Cañas (Universidad de Córdoba, España)

Prof. Ing. Agr. Santiago Sarandón (Universidad Nacional de La Plata, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. Fabio Tacchini (UNCUYO, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. Rosana Vallone (UNCUYO, INTA, Argentina)

Coordinadora

Prof. Claudia Lépez

Diseño y autoedición

Dis. Gráfica Cintia Eliana Costa

Dis. Gráfica Brenda Rodriguez

Hugo Leonardo Fontes

Diseño tapa Bicentenario

Dis. Gráfica Cintia Eliana Costa

Dis. Gráfica Brenda Rodriguez

Publicación diagramada en el
Centro de Ediciones Académicas
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo
Junio 2016

Tirada: 240 ejemplares

Se terminó de imprimir
el 31 de julio de 2016 en
Inca Editorial Talleres Gráficos
Cooperativa de Trabajo Ltda.
José Federico Moreno 2164/2188
5500 - Ciudad de Mendoza
República Argentina
Telefax (0261) 429 0409 - 425 9161
E-mail: incasterio@incaeditorial.com
www.incaeditorial.com

Impreso en Mendoza, Argentina
Printed in Mendoza, Argentina



Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo

Ref. N°

BIBLIOTECA

biblio@fca.uncu.edu.ar

Hemos recibido por We have received by Nous avons reçu par	CANJE EXCHANGE <input type="checkbox"/> ECHANGE	DONACIÓN GIFT <input type="checkbox"/> DONATION	SUSCRIPCIÓN SUBSCRIPTION <input type="checkbox"/> SOUSCRIPTION
--	---	---	--

REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Vol.: 48 N°: 1 Año: 2016

Nos está faltando We are in want of Il nous manque	
Enviamos a ustedes We send you Nous envoyons	
Dirección correcta Correct address Adresse correcte	
Fecha Date Date	Firma Signature Signature

Los envíos posteriores dependen de la devolución de esta tarjeta.
Further mailings depend on the return of this card.
Les expéditions ultérieures dépendent du renvoi de cette carte.

Solicitamos canje
Please exchange
Nous demandons l'échange

Papel reciclado
Recycled paper



SUSCRIPCIÓN - SUBSCRIPTION - SOUSCRIPTION

REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PARA SUSCRIBIRSE, COMPLETAR ESTE FORMULARIO

TO SUBSCRIBE, COMPLETE THIS FORM

POUR FAIRE LA SOUSCRIPTION, COMPLÉTER CE FORMULAIRE

Valor de la suscripción Suscripción price Valeur de la souscription	Un año (dos números) One year (two numbers) Un année (deux numéros)	u\$s 60.00
Nombre / Institución Name / Institution Nom / Institution		
Dirección Address Adresse		
Teléfono / Fax Telephone / Fax Telephone / Fax		
Cheque / Giro N° Check / Money Order N° Cheque / Change N°	Banco Bank Banque	
A la orden de To order A l'ordre	Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Agrarias Alte. Brown 500 (M5528AHB) - Chacras de Coria Mendoza - Argentina	
Fecha Date Date	Firma Signature Signature	

Papel reciclado
Recycled paper

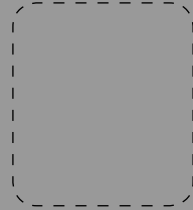


Tarjeta Postal
Post Card
Carte Postale



BIBLIOTECA
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo
Almirante Brown 500
Chacras de Coria, Mendoza
República Argentina
M5528AHB

Tarjeta Postal
Post Card
Carte Postale



BIBLIOTECA
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo
Almirante Brown 500
Chacras de Coria, Mendoza
República Argentina
M5528AHB

Revista
de la
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo



Ficha de Catalogación

(Escala: 1:1)

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.

-- T. 1, n° 1, 1949 -

Mendoza : Facultad de Ciencias Agrarias.

Universidad Nacional de Cuyo, 1949 -

v. : il; 24 cm

Semestral

ISSN 0370-4661

CDU 63

Consultas referidas a los artículos de la Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO), deben remitirse a:

Centro Coordinador de Ediciones Académicas (UNCUYO)

Almirante Brown 500

Chacras de Coria

Mendoza (Argentina)

M5528AHB

Tel: (54 261) 413-5000 - Int. 1220

e-mail: ccea@fca.uncu.edu.ar

web: <http://revista.fca.uncu.edu.ar>

<http://bdigital.uncu.edu.ar>

La correspondencia relacionada con la distribución y/o canje, debe dirigirse a:

Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO)

Almirante Brown 500

Chacras de Coria

Mendoza (Argentina)

M5528AHB

Tel.: (54 261) 413-5000 - Int. 1117

Fax: (54 261) 496-0469

e-mail: biblio@fca.uncu.edu.ar

El contenido de los artículos que aparecen en esta Revista es responsabilidad de sus autores.
Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del editor.

La Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo publica artículos originales e inéditos, escritos en español o inglés, cuya temática está relacionada con la ingeniería agronómica, ciencias de los alimentos y los recursos naturales renovables.

El material que se publica pertenece tanto a investigadores de la propia institución así como de otras facultades y centros de investigación del país y del extranjero.

La inserción de los artículos está sometida a las normas internacionales vigentes, con referato por parte de especialistas en cada disciplina.

La Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCUYO está categorizada por el CAICYT (Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica del CONICET) en el Nivel Superior de Excelencia (Categoría 1).

Esta publicación está indizada en:

LATINDEX

Bulletin de l'O.I.V. (Revue signalétique internationale)

VITIS-VEA (Viticulture and Enology Abstracts)

AGRIS - F.A.O.

CAB Abstracts

CABI Full Text

Ulrich's International Periodicals Directory

International Society for Pest Information (ISPI)

Fuente Académica de EBSCO

Agri2000 de SIDALC

Science Citation Index Expanded

Journal Citation Reports/Science Edition

Biological Abstracts

BIOSIS Previews

CABELLS

DOAJ (Directory of Open Access Journals)

REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe)

Thomson Reuters (ex ISI)

Scopus & Embase

Núcleo Básico de Revistas Científicas Argentinas

SciELO Argentina

Evaluadores 2016

Dr. Esteban Abbona

UNLa Plata

Dr. Diego Agnes

UBA

Dra. Jorgelina Altamirano

UNCuyo

M. Sc. Mario Basán Nickisch

INTA

M. Sc. Mónica Bauzá

UNCuyo

Dr. Aníbal Catania

INTA

M. Sc. Ramiro Cid

INTA

Dra. Bárbara Civit

Grupo Clipe de la UTN

Dra. María Victoria Coll Araoz

CONICET, PROIMI

Dr. Ernesto Crechi

INTA

Dr. Eleodoro del Valle

UNLitoral

Dra. Anahí Dominguez

UNRío Cuarto

M. Sc. Alejandro Drovandi

UNCuyo

Ing. Paula Ferrere

INTA

Dr. Carlos González Esquivel

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Gustavo González Neves

Universidad de la República de Uruguay

Dra. Corina Graciano

UNLa Plata

Dr. Juan Carlos Guevara

UNCuyo

Dr. Roberto Kiesling

CONICET

Dr. Alvaro Lamas

UBA

Dr. Daniel Laureda

UBA

Dr. Máximo Lorenzo

INTA

Dra. Gabriela Lucero

UNCuyo

Ing. Carlos Marfil

UNCuyo

Dra. Estefanía Martinis

UNCuyo

Dr. José Micheloud

FAUBA

M. Sc. Gustavo Nardon

UBA

Ing. Roxana Piastrellini

CCT Mendoza

Dra. Geraldine Ramallo

Fundación Miguel Lillo

M. Sc. Héctor Rosatto

UBA

Dra. Florencia Vaquero

UNRío Cuarto

Dra. Alejandra Vilela

Museo Egidio Feruglio

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo

TOMO 48(1) - JUNIO 2016

ÍNDICE

GENÉTICA Y MEJORAMIENTO VEGETAL

Phenolic acid content in wheat grain (*Triticum* spp.) of different genotypes

*Contenido de ácido fenólico (*Triticum* spp.) de diferentes granos de trigo*

D. Popowska, K. Szablewska, J. Nawracała, A. Tomkowiak, J. Perkowski. 1

Caracterización de progenitores de papa en base a aptitud combinatoria y heterosis para la búsqueda de resistencia a *Phytophthora infestans*

*Characterization of potato parents based on combining ability and heterosis for searching resistance to *Phytophthora infestans**

A. J. Andrade, S. B. Capezio, M. A. Huarte. 9

Método de selección en explantes *in vitro* de *Opuntia* ssp. con resistencia a la mancha negra causada por *Pseudocercospora opuntiae*

*In vitro selection method in explants of *Opuntia* ssp. with resistance to black spot caused by *Pseudocercospora opuntiae**

M. J. Ochoa, L. Rivera-López, J. F. Gómez-Leyva 21

ECOFISIOLOGÍA Y MANEJO DE CULTIVOS

Sapling growth, water status and survival of two natives shrubs from the Monte Desert, Mendoza, Argentina, under different preconditioning treatments

Crecimiento, estado hídrico y supervivencia de plantines de dos arbustos nativos del Desierto del Monte, Mendoza, Argentina, sometidos a diferentes tratamientos de precondicionamiento

M. E. Fernández, C. B. Passera, M. A. Cony. 33

Parametrización y uso del modelo CROPGRO-soja en Azul, Buenos Aires

Parameterization of CROPGRO-soybean model and its use as a tool to assess the impact of climate change on the soybean crop

A. Confalone, C. Vilatte, L. Lázaro, N. Roca, S. Mestelan, F. Sau. 49

Estudio de las prestaciones de cabezales arroceros con sistema Draper <i>Study of performance of rice with system draper heads</i>	
R. Hidalgo, O. Pozzolo, E. Serafini, F. Domínguez, J. Beltramino, G. Botta.	65

Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina <i>Soil compaction induced by machinery at polo fields in Argentina</i>	
D. A. Laureda, G. Fernando Botta, A. T. Becerra, H. G. Rosatto.	79

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Modelo de ahusamiento para <i>Eucalyptus nitens</i>, en suelos de cenizas volcánicas de la región de La Araucanía (Chile) <i>Taper model for <i>Eucalyptus nitens</i>, in volcanic ash soils of the region of The Araucanía (Chile)</i>	
A. Rodríguez-Toro, R. Rubilar-Pons, F. Muñoz-Sáez, E. Cártes-Rodríguez, E. Acuña-Carmona, J. Cancino-Cancino.	101

Contribution of <i>Amyntas gracilis</i> (Megascolecidae) and <i>Octolasion cyaneum</i> (Lumbricidae) to soil physical stability: a mesocosm experiment <i>Contribución de <i>Amyntas gracilis</i> (Megascolecidae) y de <i>Octolasion cyaneum</i> (Lumbricidae) a la estabilidad física del suelo: una experiencia en mesocosmos</i>	
L. Falco, C. Coviella.	115

Diagnóstico ambiental en la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe <i>Environmental diagnosis in the farming belt of Santa Fe city</i>	
A. Durán, M. Paris, M. I. Maitre, F. Marino.	129

Multielemental composition and nutritional value of "dumosa" (<i>Ilex dumosa</i>), "yerba mate" (<i>I. paraguariensis</i>) and their commercial mixture in different forms of use <i>Composición multielemental y valor nutricional de "dumosa" (<i>Ilex dumosa</i>), "yerba mate" (<i>I. paraguariensis</i>) y su mezcla comercial en diferentes formas de uso</i>	
M. G. Maiocchi, L. A. Del Vitto, M. E. Petenatti, E. J. Marchevsky, M. V. Avanza, R. G. Pellerano, E. M. Petenatti.	145

Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (<i>Zea mayz</i>) en provincias del centro y noreste argentino <i>Green and blue water footprint of corn (<i>Zea mayz</i>) production in central and northeastern provinces of Argentina</i>	
A. Alvarez, J. A. Morábito, C. Schilardi.	161

Evaluación de sustentabilidad de un modelo extensivo de cría bovina en Mendoza, Argentina <i>Sustainability assessment of an extensive cow-calf model in Mendoza, Argentina</i>	
S. Otta, J. Quiroz, E. Juaneda, J. Salva, M. Viani, M. F. Filippini.	179

**Problemáticas resultantes del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires -
aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica**

Climate change difficulties in the Buenos Aires city contribution of green roofs in regulating the thermal change

H. Rosatto, G. Botta, A. Tolón Becerra, H. Tardito, M. Leveratto. 197

PROTECCIÓN VEGETAL

Efecto nematocida de extractos de ajo, orujo de uva y alperujo de aceituna; sobre *Meloidogyne incognita*, en vid, cv Chardonnay

*Nematicidal effects of extracts of garlic, grape pomace and olive mill waste, on *Meloidogyne incognita*, on grapevine cv Chardonnay*

M. D. Martinotti, S. J. Castellanos, R. González, A. Camargo, M. Fanzone. 211

TECNOLOGÍAS AGROINDUSTRIALES

Estabilización tartárica en vinos: comparación entre electrodiálisis y tratamiento de frío por contacto

Tartaric stabilization of wines: comparison between electrolysis and cold by contact

S. V. Corti, S. C. Paladino. 225

PERSPECTIVAS

Variedades criollas, una oportunidad para el pisco de Chile

Native varieties, an opportunity for Chilean pisco

P. Pszczólkowski, P. Lacoste. 239

Normas para la presentación de artículos. 241

Phenolic acid content in wheat grain (*Triticum* spp) of different genotypes

Contenido de ácido fenólico (*Triticum* spp) de diferentes granos de trigo

Danuta Kurasiak-Popowska ¹, Kinga Stuper-Szablewska ²,
Jerzy Nawracała ¹, Agnieszka Tomkowiak ¹, Juliusz Perkowski ²

Originales: *Recepción:* 06/02/2015- *Aceptación:* 14/12/2015

Nota científica

ABSTRACT

One of the most significant factors affecting resistance to fungal diseases in winter wheat genotypes is the content of phenolic compounds. A total of 100 winter wheat cultivars were investigated. The contents of five phenolic acids: ferulic, vanillic, syringic, vanillin, p-coumaric and free phenolic acids (FPA) were determined. Considerable variation was found both within tested cultivars. Among the investigated acids the greatest amounts were recorded for ferulic acid and its mean concentration was 975 $\mu\text{g g}^{-1}$, p-coumaric acid was characterised by a lower mean concentration (52 $\mu\text{g g}^{-1}$), while the lowest concentration was recorded for vanillin, amounting to 5 $\mu\text{g g}^{-1}$. Ferulic acid state 92.4% of total phenolic acids. Significant differences in content of ferulic acids between genotypes were observed. The group of winter wheats coming from different European countries was characterized by high variation in the contents of ferulic acid, ranging from 320 to 3103 $\mu\text{g g}^{-1}$. No significant correlations were observed between ferulic acid and other phenolic acids. Results provide the basis for further studies in this field.

Keywords

ferulic acid • phenolic acids • wheat

-
- 1 Department of Genetics and Plant Breeding. Faculty of Agronomy and Bioengineering. Poznan University of Life Sciences. Dojazd 11, 60-632 Poznań, Poland. popowska@up.poznan.pl
 - 2 Department of Chemistry. Faculty of Wood Technology. Poznan University of Life Sciences. Wojska Polskiego 75, 60-625 Poznań, Poland.

RESUMEN

Uno de los factores más importantes en la resistencia a las enfermedades fúngicas en genotipos de trigo de invierno es el contenido de compuestos fenólicos. Se investigó un total de 100 cultivos de trigo de invierno, se determinó sus contenidos de los cinco ácidos fenólicos: ferúlico, vanílico, siríngico, vainillina, p-cumárico y ácidos fenólicos libres (AFL) y se encontró una variación entre ambos cultivos probados. Entre los ácidos investigados, se detectó mayores cantidades de ácido ferúlico (concentración media de $975 \mu\text{g g}^{-1}$), ácido p-cumárico (caracterizado por una baja concentración media ($52 \mu\text{g g}^{-1}$), mientras que la concentración más baja que se detectó fue de vainillina (a razón de $5 \mu\text{g g}^{-1}$). El ácido ferúlico conforma el 92,4% de los ácidos fenólicos totales. Por otro lado, se observó diferencias significativas en el contenido de ácidos ferúlicos entre genotipos: el grupo de trigos de invierno procedente de varios países europeos tenía como característica una alta variación de contenidos de ácido ferúlico, del orden de 320 hasta $3103 \mu\text{g g}^{-1}$. No se detectó correlaciones significativas entre el ácido ferúlico y otros ácidos fenólicos. En conclusión, los resultados de este estudio ofrecen la base para otras investigaciones con más profundidad en este ámbito.

Palabras clave

ácido ferúlico • ácidos fenólicos • trigo

INTRODUCTION

Wheat is infested by many fungal diseases. In case of wheat this problem to the greatest extent pertains to grain contamination with mycotoxins produced by various species, of which the most important are fungi from the genus *Fusarium* (2, 15). This results in grain contamination with such toxins as deoxynivalenon (DON), nivalenol (NIV) (14).

Breeding towards resistance is the best prevention method. Although some genotypes are known to have resistance coming from spring cultivars such as Sumai 3 and Frontana, they exhibit disadvantageous yield traits. In view of such difficulty in obtaining resistant cultivars to *Fusarium* new genotypes are searched for both in Poland and worldwide, which could provide good germplasm for breeding towards resistance.

Some information indicates that also resistance to Fusarium Head Blight (FHB) in wheat may be to a considerable degree connected with the presence of phenolic acids in the spike and in kernels. Among phenolic acids in wheat grain ferulic acid is found in greatest amounts, which level depends on the cultivar and on kernel size (8, 10).

A dependence was indicated between ferulic acid found in wheat grain and resistance of wheat to fusariosis (17).

The aim of the presented investigations was to determine the contents of phenolic acids, particularly ferulic acid, in grain of winter wheat genotypes.

MATERIAL AND METHODS

A total of 100 cultivars and lines of winter wheat were selected for analysis. They came from Polish breeding companies involved in wheat breeding and from the collection of winter wheat belonging to the Department of Genetics and Plant Breeding, the Poznań University of Life Sciences. Breeding companies, *i.e.* Małopolska Plant Growing Company - HBP Ltd. (MHR), Plant Breeding Company Smolice Ltd. (HRS), Danko Plant Breeding Company Ltd. (Danko HR), Poznań Plant Breeders Ltd., (PHR), Plant Breeding Company Strzelce Ltd. (HRSt) from their own breeding material selected for analyses genotypes with known resistance to fungal diseases. Genotypes selected from the collection of the Department of Genetics and Plant Breeding, PULS included cultivars and lines of winter wheat originated from different countries (Austria, Czech Republic, Holland, France, Germany, Russia and Hungary).

Based on literature data they were considered resistant to *Fusarium*, and they were obtained from the wheat collection of the National Small Grain Collection at the Agriculture Research Station in Aberdeen, belonging to the National Plant Germplasm System in the USA, and from dr Tomasz Góral, Plant Breeding and Acclimatization Institute in Radzików. Analyses were also conducted on wheat lines generated at the Department of Genetics and Plant Breeding (DG&PB) and coming from crossing of semi-dwarf English and French forms with leading Polish cultivars.

All grain samples used in the analyses were harvested in 2011 from genotypes growing at Wielkopolska conditions, at Agriculture Research Station "Dłoń".

The soil at the site is Luvisols (SgP, 2011) with pH ranged between 6.0 and 6.4. Weather conditions in the spring/vegetation in 2011 were as follows: the average temperature in April was 11.9°C, 15.5°C in May, June 19.0°C and in July 18.6°C. Total rainfall in the month of April was 14 mm, 37.5mm in May, 33.5mm in June and 169mm in July. The field experiment was conducted in 3 replications, while the plot size was 1m².

From 3 replications, a bulk sample of 1 kg was collected, from which a sample of 100 g grain each was used in further analyses. The chemical analysis were conducted in 2 replication, and the mean of the replications is shown in the tables (table 1, page 4)

2.1 Analysis of contents of free phenolic acids (FPA)

Total of free phenolic acids was determined as described by Stuper-Szablewska *et al.*, (2015).

2.2 Determination of phenolic acids

Contents of 5 phenolic acids was determined as described by Stuper-Szablewska *et al.*, (2014).

2.3 Statistical analysis

Results were subjected to statistical analysis using the STATISTICA v. 8.0 software package. Means, range from the samples as well as the number and percentage of positive samples were determined. Moreover, values of Pearson's linear correlation coefficients were determined at the following significance levels, $\alpha=0.01$, and $\alpha=0.001$ (**, ***). In order to compare contents of analysed metabolites in samples the procedure of multiple comparisons using Tukey's method was applied.

Table 1. Mean, ranges and percentages of positive samples for concentrations of five identified phenolic acids and their totals as well as free phenolic acids (FPA).

Tabla 1. Media, rangos y porcentajes de muestras positivas para las concentraciones de cinco ácidos fenólicos identificados, sus totales y ácidos fenólicos libres (AFL).

	Ferulic $\mu\text{g g}^{-1}$	Vanillic $\mu\text{g g}^{-1}$	Syringic $\mu\text{g g}^{-1}$	Vanillin $\mu\text{g g}^{-1}$	p-cumaric $\mu\text{g g}^{-1}$	Phenolic acids (total) $\mu\text{g g}^{-1}$	FPA $\mu\text{g g}^{-1}$
Mean	975	17	5	6	52	1055	515
Range	320-3103	0-72	0-37	0-77	10-160	357-3186	220-843
Percent of positive samples	100%	71%	40%	38%	100%	100%	100%

Table 2. Co-occurrence of phenolic acids.

Tabla 2. Co-ocurrencia de ácidos fenólicos.

Co-occurrence	Percent of positive samples
Ferulic, vanillic, syringic, vanillin, p-cumaric	11
Ferulic, vanillic, vanillin, p-cumaric	23
Ferulic, vanillic, syringic, p-cumaric	14
Ferulic, syringic, vanillin, p-cumaric	3
Ferulic, vanillin, p-cumaric	3
Ferulic, syringic, p-cumaric	9
Ferulic, vanillic, p-cumaric	19
Ferulic, p-cumaric	18

RESULTS

A total of 100 grain samples of winter wheat were analysed. In the samples five phenolic acids were identified: ferulic, vanillic, syringic, vanillin and p-coumaric acids (table 1).

However, all the acids were presented in grain of only 11 genotypes (table 2).

Most frequently in the analysed samples (23%) four acids were found simultaneously: ferulic, vanillic, vanillin and p-coumaric acids as well as a combination of three acids: ferulic, vanillic and p-coumaric (table 2). In grain of all the genotypes two acids were detected: ferulic and p-coumaric acids.

Mean concentration of ferulic acid detected in 100% samples was $975 \mu\text{g g}^{-1}$ while that of p-coumaric acid - also found in all samples - was $52 \mu\text{g g}^{-1}$, with a considerable range from the sample observed in both cases. The presence of vanillin was found in grain of 38% tested genotypes, while syringic acid was found in grain of 40%.

At the same time in both cases the lowest mean content of these acids was recorded, amounting to 6 and $5 \mu\text{g g}^{-1}$, respectively.

Calculated linear correlation coefficients showed that contents of ferulic acid and total phenolic acids were related to the highest degree, highly significantly (table 3, pág. 5).

Table 3. Matrix of internal correlations for concentrations of free phenolic acids (FPA), five identified phenolic acids and their totals.**Tabla 3.** Matriz de correlaciones internas para las concentraciones de ácidos fenólicos libres (AFL), cinco ácidos fenólicos identificados y sus totales.

	FPA	Ferulic	Vanilic	Syringic	Vanilin	p-cumaric
Ferulic	0.4801**					
Vanilic	-0.0238	0.0732				
Syringic	0.4193**	0.1205	-0.1679			
Vanilin	0.0232	-0.0085	0.0551	-0.0907		
p-cumaric	-0.0347	-0.0284	0.0036	0.0426	-0.0301	
phenolic acids (total)	0.4824**	0.9974***	0.1065	0.1315	0.0129	0.0291

** ,*** - Pearson's linear correlation coefficients at the significance level $\alpha = 0.01$, $\alpha = 0.001$.

** ,*** - coeficientes de correlación lineal de Pearson en el nivel de significación $\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,001$.

This dependence resulted from the fact that ferulic acid constituted 92.4% total phenolic acids. Significant correlations were also recorded between contents of ferulic acid, syringic acid and total phenolic acids and contents of FPA (table 3).

Conducted analyses of winter wheat grain showed very high variation in the analysed genotypes in terms of contents of ferulic acid (320-3103 $\mu\text{g g}^{-1}$) and total phenolic acids and FPA (table 1, page 4; table 2, page 4; table 3). Almost half of the genotypes: 47, had contents of ferulic acid within the range of 700-1000 μg , and only thirteen contained over 1500 μg . A very low content of ferulic acid <500 μg was found in only five genotypes.

DISCUSSION

Li *et al.* (2008) when analysing 130 genotypes of winter wheat found that the range from samples for ferulic acid was from 326 to 1171 $\mu\text{g g}^{-1}$ at the mean contents of 664 $\mu\text{g g}^{-1}$, while in this experiment the average for winter wheat was 974 $\mu\text{g g}^{-1}$. Significant differences between contemporary and old cultivars

of *Triticum aestivum* and *T. durum* were reported by Heimler *et al.* (2010). Also the analysis of 58 genotypes from the Australian Winter Cereals Collection conducted by Wu *et al.* (2001) showed significant differences between genotypes in terms of contents of seven phenolic acids. Irmak *et al.* (2008) stated that even in isolines of cv. 'Pegaso' differing in glutenin protein subunits there were significant differences in PFA contents and total phenolic acids. Probably reports on a lack of significant differences between genotypes frequently result from a small number of analysed forms (3, 21). Amounts of ferulic, coumaric and vanillic acids comparable to those recorded in these experiment were observed in different wheat cultivars by other authors (11, 12).

Analogously to different publications on wheat phenolics, ferulic acid was the dominant phenolic acid in all wheat cultivars and accounted for 92.4% of total phenolic acids. Similarly, Irmak *et al.* (2008) and Jonnalala *et al.* (2010) showed that ferulic acid constituted 92% and 95%, respectively, of total phenolic acids. Moreover, a high correlation was

found between contents of ferulic acid and total contents of phenolic acids (12).

Significant differences in contents of ferulic acid and total contents of phenolic acids between spring wheat genotypes were found by Mpofo *et al.* (2006). Content of ferulic acid was low, amounting to 371-436 $\mu\text{mol gallic acid } 100\text{g}^{-1}$ grain, while the total content of phenolic acids was high, amounting to 1709-1990 $\mu\text{g g}^{-1}$. In turn, Irmak *et al.* (2008) recorded that total phenolic acid content in cv. 'Pegas' was very high at 2795 $\mu\text{g g}^{-1}$ GAE. Kim *et al.* (2006) in wheat samples recorded concentrations of ferulic acid at an average level of 3420 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Content of FPA was on average over two-fold lower than total phenolic acids.

Greater differences were observed by Okarter *et al.* (2010), as in their study FPA content ranged from 255 to 499 $\mu\text{mol gallic acid } 100\text{g}^{-1}$ grain, while total content of phenolic acids from 841 to 1099 $\mu\text{mol gallic acid } 100\text{g}^{-1}$ grain, with significant differences between genotypes. In the analyses performed on 11 cultivars by Adom *et al.* (2003), FPA content was much lower (119-201 $\mu\text{mol gallic acid } 100 \text{ g}^{-1}$ grain) than the total content of phenolic acids at 709-860 $\mu\text{mol gallic acid } 100 \text{ g}^{-1}$ grain.

Considerable differences in contents of ferulic acid, observed in the conducted experiment, may be reflected in differences in resistance to *Fusarium*.

REFERENCES

1. Adom, K. K.; Sorrells, M. E.; Liu, R. H. 2003. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 7825-7834.
2. Chiotta, M. L.; Chulze, S.; Barros, G. 2015. Fuentes de inóculo de especies de *Fusarium* potenciales productoras de micotoxinas en el agroecosistema soja. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(2): 171-184.
3. Gélinas, P.; McKinnon, C. M. 2006. Effect of wheat variety, farming site, and bread baking on total phenolics. *International Journal of Food Science and Technology*. 41: 329-332.
4. Heimler, D.; Vignolini, P.; Isolani, L.; Arfaioli, P.; Ghiselli, L.; Romani, A. 2010. Polyphenol content of modern and old varieties of *Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf. grains in two years of production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 7329-7334.
5. Irmak, S.; Jonnala, R. S.; MacRitchie, F. 2008. Effect of genetic variation on phenolic acid and policosanol contents of Pegaso wheat lines. *Journal of Cereal Science*. 48: 20-26.
6. Jonnala, R. S.; Irmaka, S.; MacRitchie, F.; Bean, S. R. 2010. Phenolics in the bran of waxy wheat and triticale lines. *Journal of Cereal Science*. 52: 509-515.
7. Kim, K. H.; Tsao, R.; Yang, R.; Cui, S. W. 2006. Phenolic acid profiles of wheat extracts and the effect of hydrolysis conditions. *Food Chemistry*. 90: 426-433.
8. Lempereur, I.; Rouau, X.; Abecassis, J. 1997. Genetic and agronomic variation in arabinoxylan and ferulic acid contents of durum wheat (*Triticum durum* L.) grain and its milling fractions. *Journal of Cereal Science*. 25: 103-110.
9. Li L.; Shewry, P. P.; Ward, J. L. 2008. Phenolic acids in wheat varieties in the HEALTH GRAIN diversity screen. *Journal of Agricultural and Food*. 56: 9732-9739.
10. Manfreda, V. T.; Acosta, M. C. 2015. Variables de tamaño y forma de granos y embriones de trigo (*Triticum aestivum* L.): análisis y propuestas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 43-58.
11. Moore, J.; Hao, Z.; Zhou, K.; Luther, M.; Costa, J.; Yu L. 2005. Carotenoid, tocopherol, phenolic acid and antioxidant properties of Maryland-grown softwheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 6649-6657.

12. Mpofu, A.; Sapirstain, H. D.; Beta, T. 2006. Genotype and environmental variation in phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of hard spring wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 1265-1270.
13. Okarter, N.; Liu, C.; Sorrells, M. E.; Liu, R. H. 2010. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat. *Food Chemistry*. 119: 249-257.
14. Perkowski, J.; Wiwart, M.; Buśko, M.; Laskowska, M.; Berthiller, A.; Kandler, S.; Karska, R. 2007. Fusarium toxins and total fungal biomass indicators in naturally contaminated wheat samples from north-eastern Poland in 2003. *Food Additives and Contaminants*. 24: 1292-1298.
15. Perniola, O. S.; Staltari, S.; Chorzempa, S. E.; Astiz Gassó, M. M.; Molina, M. del C. 2014. Control biológico de *Fusarium graminearum*: utilización de *Trichoderma* spp. y biofumigación con parte aérea de *Brassica juncea*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(2): 45-56.
16. SgP. 2011. Systematyka gleb Polski. *Soil Science Annual (Roczniki Gleboznawcze)*. 62(3):5-142.
17. Stuper K.; Perkowski, J.; Nawracała, J. 2011. Comparison of analytical methods of phenolic compounds determined in cereal grains. *New trends in food analytics. M Szoltyś i A Dąbrowska (eds.)*. p. 107-118.
18. Stuper-Szablewska, K.; Kurasiak-Popowska, D.; Nawracała, J.; Perkowski, J. 2014. Comparison of phenolic acids contents in various wheat genotypes. *Przemysł Chemiczny*. 93/12: 2274-2278.
19. Stuper-Szablewska, K.; Ostrowska, A.; Góral, T.; Matysiak, A.; Perkowski, J. 2015. Comparison of the antioxidant activity of different varieties of winter wheat naturally infected and inoculated with fungi of the genus *Fusarium*. *Biuletyn IHAR*. 276: 9-18.
20. Wu, H.; Haig, T.; Pratley, J.; Lemerle, D.; An, M. 2001. Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): variation of phenolic acids in shoot tissues. *Journal of Chemical Ecology*. 27: 125-135.
21. Zhou, K.; Laux, J. J.; Yu, L. 2004. Comparison of Swiss red wheat grain and fractions for their antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 1118-1123.

Caracterización de progenitores de papa en base a aptitud combinatoria y heterosis para la búsqueda de resistencia a *Phytophthora infestans*

Characterization of potato parents based on combining ability and heterosis for searching resistance to *Phytophthora infestans*

Alberto Juan Andrade ¹, Silvia Beatriz Capezio ², Marcelo Atilio Huarte ³

Originales: *Recepción*: 01/07/2015 - *Aceptación*: 02/12/2015

RESUMEN

Controlar efectivamente a *Phytophthora infestans*, deviene de seleccionar genotipos con capacidad de transmitir resistencia. Con el objeto de caracterizar progenitores de papa en base a aptitud combinatoria y heterosis para resistencia a *P. infestans*, se cruzaron seis variedades (Libertad, Jaspe, Chotañawi, Pollerita, Robusta e INRA 92T.114.76). Quince familias de tubérculos de segunda generación clonal, obtenidas, fueron inoculadas con *P. infestans* en Balcarce (Buenos Aires, Argentina) y evaluadas bajo diseño en bloques completos aleatorizados con dos repeticiones. Se midió área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC). Se estimó Aptitud Combinatoria (AC) general y específica, heterosis media, heterobeltiosis, heterosis específica (Hs) y heredabilidad en sentido amplio (H^2) y estricto (h^2). La AC fue significativa. El progenitor Robusta disminuyó la enfermedad estimada por AUDPC, el valor negativo grande de AC específica señaló mejor híbrido a Robusta x Chotañawi. Un tercio de las cruzas expresaron aditividad en todos los niveles de heterosis. Los valores de Hs manifestaron equivalencia con el porcentaje de disminución del AUDPC. Las heredabilidades ($H^2=0,63$ y $h^2=0,54$) indicaron que la selección por bajo AUDPC puede ser efectiva. El progenitor Robusta y la cruce Robusta x Chotañawi, conformaron los genotipos superiores recomendados para transferir resistencia a *P. infestans*.

Palabras clave

resistencia *Phytophthora infestans* • AUDPC • heterobeltiosis • heterosis específica

-
- 1 Instituto de Biología de la Altura, Universidad Nacional de Jujuy, Av. Bolivia 1661, C. P. 4600 San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina. beto@inbial.unju.edu.ar
 - 2 Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, C.C. 276, C. P. 7620 Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
 - 3 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Buenos Aires Sur, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, C. C. 276, C. P. 7620 Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

ABSTRACT

The efficient control of *Phytophthora infestans* results from the selection of genotypes with the capacity of transferring resistance. In order to characterize potato parents based on combining ability and heterosis for their resistance to *P. infestans*, six parents were crossed (Libertas, Jaspe, Chotañawi, Pollerita, Robusta and INRA 92T.114.76). The 15 tuber families of second clonal generation obtained were inoculated with *P. infestans* in Balcarce (Buenos Aires, Argentina) and evaluated under randomized complete block design with two replicates. Area Under Disease Progress Curve (AUDPC) was recorded for each genotype; general and specific combining ability, average heterosis, heterobeltiosis, specific heterosis and broad-sense (H^2) and narrow (h^2) heritability were estimated. Combining ability was significant. The Robusta parent reduced the disease estimated by AUDPC; Robusta x Chotañawi was the best hybrid, as observed by the high negative value of specific combining ability. One third of the crosses expressed significant additive effects for all levels of heterosis. H_s values showed equivalence with the percent reduction of AUDPC. The obtained heritabilities ($H^2=0.63$ and $h^2=0.54$) indicated that selection based on the low AUDPC values can be effective. Robusta parent and Robusta x Chotañawi cross are good genotypes for transmitting resistance to *P. infestans*.

Keywords

Phytophthora infestans resistance • AUDPC • heterobeltiosis • specific heterosis

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) alimenta a los habitantes de más de 100 países donde se la produce anualmente. Su cultivo es seriamente afectado por numerosas plagas y enfermedades como la del Tizón tardío causada por *Phytophthora infestans* que afecta a los tubérculos y al follaje.

P. infestans es un oomiceto más cercanamente relacionado con las algas marrones que con los verdaderos hongos (6); su mecanismo de reproducción sexual y asexual cambia permanentemente la estructura poblacional del hongo originando nuevos genotipos más agresivos y resistentes a fungicidas (23).

En Argentina, *P. infestans* ha provocado pérdidas de rendimiento de hasta un 41,23% para papa consumo y 33,85% para rendimiento total (28). El control químico del patógeno, requiere varias aplicaciones

de fungicidas con el consiguiente impacto ambiental, por lo que es necesario identificar estrategias sustentables para su control, como por ejemplo la obtención de variedades resistentes a *P. infestans*.

En papa, dos sistemas de respuesta gobiernan el universo de la resistencia a *P. infestans*; la cualitativa o de genes mayores (genes R) que es rápidamente superable (17) y la cuantitativa gobernada por un conjunto de genes menores cuya acción génica aditiva provee resistencia a muchas razas de *Phytophthora* y tiene mayor duración temporal (23). Esta, constituye una mejor estrategia para el mejoramiento, responde efectivamente a la naturaleza agresiva del patógeno y puede disminuir la utilización de fungicidas.

Desde los años '90 a la fecha, la resistencia encontrada en la amplia variabilidad genética de especies silvestres nativas y en las especies cultivadas de Sudamérica, fue introducida en los cultivares de papa más difundidos (2). La tendencia a incorporar genes por mejoramiento convencional o por ingeniería genética, se orienta a apilarlos en un solo genotipo para lograr resistencia duradera (39).

La adopción de cultivares resistentes no es del todo exitosa, la cadena de comercialización y la demanda del mercado de la papa prioriza otras cualidades, tanto que, un cultivar sin resistencia a una enfermedad puede ser seleccionado por otros atributos. A esto se agrega la liberación de variedades con resistencia vertical no estable y la asociación de la resistencia con maduración tardía (41). No obstante, es importante explorar las fuentes genéticas que permitan disminuir la enfermedad y tengan capacidad de transmitir tal disminución a la descendencia.

En ese contexto, el estudio de la Aptitud Combinatoria aporta a un mayor conocimiento de las fuentes de resistencia; en efecto, evalúa la progenie para estudiar la herencia del rasgo, identifica a los progenitores superiores, define la dirección de cruzamiento y reduce el tiempo de cada ciclo de selección si los padres con buena aptitud combinatoria se identifican poco después de la hibridación (4).

Sprague y Tatum (37), propusieron la base conceptual del cruzamiento dialélico. Esta herramienta estima los componentes de variación genética e identifica los recombinantes superiores. Sus estimadores, Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Específica (ACE) miden, efectos aditivos y no aditivos. De esta forma se puede definir el procedimiento para transferir genes e indicar la estrategia de mejora a

implementar con un aprovechamiento máximo de la Heterosis. Griffing (1956, a y b), integrando conceptos de Hayman (1954, 1958), Jinks (1954) y Kempthorne (1956), propuso cuatro modelos de cruzamientos para estimar ACG y ACE. El primero comprende todas las autofecundaciones, cruza F1 y sus recíprocas; el segundo, incluye autofecundaciones y un solo conjunto de cruza; el tercero incluye al conjunto de cruzamientos F1 y sus recíprocos, mientras que el cuarto solo un conjunto de cruza F1.

El significado genético de la heterosis es utilitario; señala la efectividad de la hibridación, identifica los híbridos sobresalientes y es un indicador de la diversidad genética *per se* de los progenitores y de la expresión génica que rige a un carácter (31). Gardner y Eberhart (1966) y Gardner (1967) propusieron un modelo que divide a la heterosis en tres efectos: i) media o diferencia entre la expresión promedio de los progenitores y el promedio de las cruza; ii) heterobeltiosis, mide la heterosis de un progenitor en sus cruza y iii) específica, que es la heterosis neta de cada cruza particular, con respecto a heterosis media y a heterobeltiosis.

Por su parte, la heredabilidad mide la capacidad que tiene un atributo para transmitirse de una generación a otra; por lo tanto es decisiva en el proceso de selección (7) y se estima mediante componentes de varianza genética y fenotípica (1).

Objetivo

Caracterizar por aptitud combinatoria y heterosis a seis progenitores de papa y su descendencia para identificar los mejores genotipos con capacidad de transmitir resistencia a *P. infestans*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material biológico, comprendió tubérculos de papa de segunda generación clonal obtenidos en dos pasos. Para ello, se utilizó un esquema de cruzamiento dialélico modelo 4 de Griffing (1956, a y b) entre seis progenitores tetraploides: Jaspe (Jas), Chotañawi (Cho), Pollerita (Poll) y Robusta (Rob) corresponden a variedades obtenidas por la Fundación PROINPA de Bolivia; Libertas (Lib) de origen Holandés e INRA 92T.114.76 (i92) un clon avanzado del Institut National de la Recherche Agronomique, Francia.

La riqueza genética de cada progenitor reside en la combinación de genomas de diferentes especies como se indica en la tabla 1.

El diseño genético de apareamiento originó 15 cruzamientos y un total de 2496 semillas botánicas. Para romper su período de reposo, las semillas fueron sumergidas en solución de ácido giberélico 1500 ppm durante 24 h y luego de secadas -sobre papel absorbente a temperatura

ambiente- fueron sembradas (diciembre) en macetas de 50 ml con sustrato comercial para Siembra-Repique Bertinat[®].

Las macetas fueron regadas cada 72 h con 15 ml x planta⁻¹ de fertilizante líquido N:P:K (10:20:13,5) de NewPlant[®]. Cuando las plántulas tuvieron 10 cm de altura (enero), se trasplantaron a campo en la localidad de Lozano (24°6' S, 65°25' W, 1350 m s. n. m.), Jujuy, Argentina. Se efectuaron prácticas culturales estándares para cultivar semilla de papa y se cosecharon 283 genotipos que llegaron a madurez fisiológica en cuatro meses para destinarlos a su evaluación bajo condiciones de epifitía severa en la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (37°45' S, 58°18' W, 120 m s. n. m.), Buenos Aires, Argentina.

Los tubérculos de los 283 genotipos fueron desinfectados con una solución al 3% de fungicida mancozeb y se plantaron utilizando un diseño en bloques completos aleatorizados con dos repeticiones.

Tabla 1. Especies involucradas y procedencia de seis progenitores de papa tetraploide (2n=4x=48).

Table 1. Species involved and origin of six potato tetraploid parents (2n=4x=48).

Progenitor	Especies involucradas	Procedencia
Chotañawi ²	<i>tbr</i> x (<i>sto</i> x <i>bre</i>)	Bolivia
Jaspe ²	(<i>sto</i> x <i>bre</i>) x (<i>tbr</i> x <i>phu</i>)	Bolivia
Pollerita ²	<i>iop</i> x <i>phu</i>	Bolivia
Robusta ²	(<i>tbr</i> x <i>adg</i>) x <i>tbr</i>	Bolivia
INRA 92T.114.76	ARK 69.1 x Pentland Dell (<i>tbr</i> x <i>tbr</i>)	Francia
Libertas ¹	Record x (Souvenir x Bato) ²	Holanda

*Abreviaturas (Abbreviations): *Solanum tuberosum* subsp. *andigena* (*adg*); *S. brevidens* (*bre*); *S. iopetalum* (*iop*); *S. phureja* (*phu*); *S. stoloniferum* (*sto*); *S. tuberosum* subsp. *tuberosum* (*tbr*).

¹ Datos extraídos de (¹Data extracted from): Bisognin y Douches (2) = [*Record* x (*Trenctria* x *Energie*)] x [(*Bravo* x *Energie*) x (*RodeStar* x *Pepo*)].

² Extraído de (²Extracted from) Gabriel *et al.* (2007).

La distancia en el surco fue de 25 cm y de 80 cm entre surcos. Empleando un fertilizador de arrastre Agrometal 4 surcos, se aplicó al inicio 250 kg x ha⁻¹ de fertilizante granulado N:P:K (18:46:0).

Se utilizó prácticas culturales estándares para el cultivo de papa y como lo establece Malcolmsom (1976), se aseguró una presión uniforme de la enfermedad intercalando surcos de la variedad Bintje sensible a *P. infestans* que actuó como propagadora de la enfermedad.

A los treinta días de establecido el cultivo y utilizando un microaspersor presurizado a 2 atmósferas, las hojas de las plantas fueron inoculadas con una suspensión de esporangios (10000 UFC x ml⁻¹) de un aislado de *P. infestans* con los factores de virulencia *Avr 1, Avr 3, Avr 4, Avr 7, Avr 8, Avr 10 y Avr 11*.

Para garantizar el ambiente óptimo de proliferación de *P. infestans*, se crearon condiciones de alta humedad relativa mediante la implementación de un sistema de riego por micro aspersión regulado para generar niebla a razón de 15' por hora.

A partir de los 10 días post-inoculación y semanalmente durante un mes, se evaluó el porcentaje de follaje con síntomas de Tizón tardío utilizando la escala de Henfling (19); los datos fueron transformados a valores de Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC) de acuerdo con la fórmula de Shaner y Finney (1977):

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n \left\{ (Y_j + Y_{j+1}) / 2 + t_{j+1} - t_j \right\}$$

donde:

Y_i = porcentaje de daño foliar en la *i*-ésima observación

t_i = tiempo en días después de la siembra en la *i*-ésima observación

n = número de lecturas

También se estimó el porcentaje de disminución de la enfermedad según:

$$\% \text{disminución AUDPC} = (1 - (AUDPC_i / AUDPC_t)) \times 100$$

donde:

$AUDPC_i$ = área bajo la curva del progreso de la enfermedad de la *i*-ésima progenie

$AUDPC_t$ = área bajo la curva del progreso de la enfermedad del testigo

El análisis de varianza (ANOVA) se efectuó con el programa SAS (34) mediante el modelo matemático 4 de Griffing (1956, a y b) y Martínez Garza (1988):

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ijk} \text{ con } 1 \leq i, j \leq p, k = 1, 2, \dots, r$$

donde:

Y_{ijk} = valor fenotípico observado de la cruce con progenitores *i* y *j*, en el bloque *k*

μ = efecto común a todas las observaciones;

g_i, g_j = efecto de la aptitud combinatoria general de los progenitores *i* y *j*

s_{ij} = efecto de la aptitud combinatoria específica de la cruce (*i, j*)

e_{ijk} = efecto ambiental aleatorio correspondiente a la observación (*i, j, k*)

Los términos g_i, s_{ij} y e_{ijk} se consideraron como variables aleatorias no correlacionadas entre y dentro de ellas, todas con media cero y varianzas σ_g^2, σ_s^2 y σ_e^2 respectivamente.

El análisis de promedios del AUDPC se efectuó por el método de análisis cluster (SKCAM) para separación de medias desarrollado por Scott y Knott (1974).

Para la estimación de los componentes de varianza genética se consideró el modelo genético para población autotetraploide (40).

A partir de la Esperanza del Cuadrado Medio (ECM), se calcularon las Varianzas de ACG (σ^2g) y de ACE (σ^2s); la heredabilidad en sentido amplio (H^2) se estimó

con $[2\sigma^2g / (2\sigma^2g + \sigma^2s + \sigma^2e)]$ y en sentido estricto (h^2) mediante $[\sigma^2a / (\sigma^2a + \sigma^2d + \sigma^2e)]$ ambas de acuerdo a Tai (1976).

Se determinaron acciones génicas de aditividad y dominancia mediante la razón ACG/ACE.

Se estimó los efectos de ACG para los seis progenitores y los de ACE para los 15 cruzamientos. Por su parte, la heterosis para AUDPC se estimó según el modelo de Gardner y Eberhart (1967) y Gardner (1966) para heterosis media (H), heterobeltiosis (Hb) y heterosis específica (Hs):

$$H = [(F_1 - Mp) / Mp] \times 100;$$

$$Hb = [(F_1 - Mb) / Mb] \times 100;$$

$$Hs = [(F_1 - TS) / TS] \times 100.$$

donde:

F_1 = media de una cruce

Mp = media de progenitores

Mb = media del mejor progenitor

TS = media del testigo susceptible

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ensayo de Balcarce, se registraron condiciones de 26,3°C de temperatura media máxima, 12,9°C de temperatura media mínima, 300 mm de precipitación y humedad relativa promedio de 73%.

La tabla 2 presenta los resultados del ANOVA para AUDPC de 15 cruzamientos evaluados en Balcarce. El coeficiente de determinación R^2 , explicó el 91% de variabilidad y el coeficiente de variación una precisión de 14% para el ensayo.

Las diferencias entre cruzamientos y ACG para AUDPC fueron altamente significativas ($P < 0,01$) y significativo ($P < 0,05$) para ACE; esto indica que hay presencia de acción génica aditiva y de dominancia en los alelos de la población estudiada, bajo el supuesto que el coeficiente de endogamia es igual a 0.

Tabla 2. Análisis de varianza para AUDPC con partición del efecto de cruce en Aptitud Combinatoria General (ACG) y Específica (ACE) para 15 cruzamientos de papa evaluados por resistencia a *Phytophthora infestans* en Balcarce.

Table 2. Analysis of variance for AUDPC showing the partition of the cross effect in the General and Specific Combining Ability (GCA and SCA) for 15 potato crosses evaluated for resistance to *Phytophthora infestans* in Balcarce.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	E C M
Modelo	15	109105,85	
Rep	1	16899,08	
Cruza	14	115692,04	** $\sigma^2e + r \sigma^2s + r(p-2)\sigma^2g$
ACG	5	240107,95	** $\sigma^2e + r \sigma^2s$
ACE	9	46572,09	* σ^2e
Error	14	11474,32	
Total	29		
R^2	Coef Var		
0,9106	13,72		

Nivel de significancia ** ($P < 0,01$); * ($P < 0,05$).

Significance level ** ($P < 0.01$) and * ($P < 0.05$).

De acuerdo con la tabla 2 (pág. 14):

$$\sigma_g^2 = \sigma^2e + r \sigma^2s + r(p-2) \sigma^2g = 24191,98$$

$$\sigma_s^2 = \sigma^2e + r \sigma^2s = 17548,89$$

$$(\sigma_g^2 / \sigma_s^2) = 1,38$$

$$\sigma^2a = 96767,93$$

$$\sigma^2d = 70195,54$$

$$H^2 (\%) = [2\sigma^2g / (2\sigma^2g + \sigma^2s + \sigma^2e)] \times 100 = 62,51$$

$$h^2 (\%) = [\sigma^2a / (\sigma^2a + \sigma^2d + \sigma^2e)] \times 100 = 54,23$$

La razón $\sigma_g^2 / \sigma_s^2 = 1,38$ indica predominio de alelos aditivos en el valor fenotípico de la descendencia. Esta acción génica aditiva, concuerda con la informada en trabajos precedentes (4, 23, 24, 26).

Otras investigaciones indican acciones de dominancia y epistasia, es decir mayor varianza ACE que ACG (14, 21); estas diferencias pueden atribuirse tanto al material genético utilizado (11), a la capacidad de transferir la resistencia (2), como a aspectos inherentes a la agresividad y virulencia del patógeno (3).

Precisamente por las características de *P. infestans*, la aditividad y no aditividad son igualmente importantes en el proceso de acumular genes de resistencia horizontal para un programa de mejoramiento (25).

Para *AUDPC*, las heredabilidades en sentido amplio ($H^2 = 0,63$) y en sentido estricto ($h^2 = 0,54$), se consideran razonablemente grandes e indican que el atributo puede ser mejorado por selección (14).

En la bibliografía consultada se encontraron valores de heredabilidad de *AUDPC* comprendidos entre 0,27 a 0,86 (5, 17, 18, 25, 32, 33, 42).

Las diferencias fueron atribuidas a factores genéticos y en general se recomienda no considerar como población de mejora a aquellas con valores inferiores a 0,50.

La tabla 3 (pág. 16) muestra los valores de ACG para los seis progenitores en la

diagonal y por encima de ella, la ACE de 15 cruzamientos. Los progenitores Robusta, INRA 92T.114.76 y Jaspe presentaron diferencias altamente significativas para ACG. De igual manera, solo siete cruzamientos exhibieron valores de ACE significativos ($P < 0,01$): Rob x i92, Rob x Cho, i92 x Lib, Cho x Lib, Cho x Poll, Lib x Jas y Jas x Poll.

Conceptualmente, se concibe que la Aptitud Combinatoria sea negativa para enfermedades y positiva para rendimiento (3). De acuerdo con Griffing (1956, a y b), los valores altos de ACG indican la superioridad del progenitor con respecto al comportamiento promedio de los cruzamientos. Para el carácter evaluado (*AUDPC*), Robusta se destacó por su alto valor negativo de ACG; fue un progenitor superior cuyo aporte genético disminuyó en 216 unidades la enfermedad de la población. Desde el punto de vista genético, Robusta tendría gran cantidad de alelos favorables para conferir resistencia a *P. infestans* y sería un progenitor candidato. Contrariamente, los progenitores INRA 92t.114.76 y Jaspe, tuvieron valores positivos grandes de ACG para *AUDPC*, es decir, tienen buena aptitud combinatoria pero no se espera de ellos progenies resistentes; de hecho, su contribución genética incrementó en gran magnitud la sensibilidad a *P. infestans* (195 y 223 unidades de *AUDPC*, respectivamente).

Los efectos de ACE fueron variables. Las cruza de Lib x Jas, Rob x i92 y Cho x Poll presentaron los efectos positivos más altos de ACE (heterosis positiva para susceptibilidad). Este incremento en grandes magnitudes, permite clasificar a las progenies como sensibles a *P. infestans*, mientras que las cruza Cho x Lib, i92 x Lib, Jas x Poll y Rob x Cho presentaron ACE negativa y significativa, por lo cual podrían considerarse resistentes. En general, estas cuatro cruza disminuyeron el *AUDPC* en un intervalo de 104 a 142 unidades (tabla 3, pág. 16).

Tabla 3. Estimadores de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Específica (ACE) para el área bajo la curva del progreso de la enfermedad en 15 cruzamientos provenientes de los progenitores Robusta (Rob), INRA 92T.114.76 (i92), Chotañawi (Cho), Libertas (Lib), Jaspe (Jas) y Pollerita (Poll).

Table 3. Estimates of General and Specific Combining Ability (GCA and SCA) for the area under disease progress curve in 15 crosses from the parents: Robusta (Rob), INRA 92T.114.76 (i92), Chotañawi (Cho), Libertas (Lib), Jaspe (Jas) and Pollerita (Poll).

	Rob	i92	Cho	Lib	Jas	Poll
Rob	-216,37**	216,62 **	-141,67 **	-28,29	-55,68	9,03
i92		195,05 **	45,26	-123,94 **	-54,81	-83,13
Cho			-30,75	-103,61 **	23,85	176,17 **
Lib				-86,19	222,28 **	33,57
Jas					222,88 **	-135,64 **
Poll						- 84,61

Nivel de significancia: ** (P < 0,01); ACG en diagonal y ACE sobre la diagonal.
Significance level: ** (P < 0.01); CGA (main diagonal) and SCA (above diagonal).

Para seleccionar por ACG y ACE, interesan únicamente las progenies que exhiben altos valores de ACE donde -además- esté involucrado un progenitor con alto ACG. Sólo el progenitor Robusta y su cruce Rob x Cho cumplieron este requisito y conforman el grupo de heterosis superior para resistencia a *P. infestans*.

La tabla 4 (pág. 17) muestra el número de genotipos evaluados, los promedios de AUDPC, la agrupación obtenida por el método de cluster de Scott-Knott (SKCAM) y la proporción de disminución de la enfermedad para cada cruzamiento respecto del testigo susceptible Bintje.

El análisis, permitió diferenciar tres grupos discretos, estadísticamente diferentes: grupo **A** (i92 x Jas, Lib x Jas, Cho x Jas, i92 x Cho, Rob x i92) de AUDPC alto con disminución porcentual de 25 a 36; grupo **B** de AUDPC intermedio (Cho x Poll, i92 x Poll, Jas x Poll, i92 x Lib, Rob x Jas) con 45 a 55% y el grupo **C** de AUDPC bajo, integrado por Lib x Poll, Cho x Lib, Rob x Poll, Rob x Lib y Rob x Cho con porcentajes de 58 a 74% de disminución

respecto de Bintje. Esta clasificación permite caracterizar a los grupos A, B y C como sensible, medianamente resistente y resistente a *P. infestans*, respectivamente.

Los valores de heterosis media (H), heterobeltiosis (Hb) y heterosis específica (Hs) para AUDPC se presentan en tabla 5 (pág. 18).

En general, los altos valores de heterosis obtenidos concuerdan con los obtenidos por Luthra (2006) y podrían estar fuertemente asociados a la diversidad genética intertaxonómica de los progenitores (29). El conjunto de 15 progenies presentó gran variabilidad en sus niveles de heterosis, expresando los efectos aditivos y no aditivos de la población.

Biswas *et al.* (2005), mencionó que desde un punto de vista práctico la Hs es la más importante, en tanto que es útil para el desarrollo de híbridos. Sin embargo, con el objeto de explotar la porción aditiva del atributo AUDPC solo importan aquellas cruces de respuesta homogénea, es decir, las que no cambian de signo en sus tres niveles.

Tabla 4. Promedios de AUDPC agrupados por análisis de cluster Scott-Knott (SKCAM), número de genotipos por cruzamiento evaluados y porcentaje de disminución de la enfermedad respecto del testigo susceptible Bintje en 15 cruzamientos de papa.

Table 4. Scott-Knott Cluster Analysis (SKCAM) for AUDPC averages, number of genotypes evaluated per cross and percent reduction of the disease with respect to the susceptible control Bintje in 15 potato crosses.

Cruzamiento	Número de genotipos evaluados	Promedios AUDPC	SKCAM	% disminución
Bintje (testigo susceptible)		1522,50		
INRA 92T.114.76 x Jaspe	24	1144,06	A	24,86
Libertas x Jaspe	8	1139,91	A	25,13
Chotañawi x Jaspe	9	996,92	A	34,52
INRA 92T.114.76 x Chotañawi	21	990,50	A	34,94
Robusta x INRA 92T.114.76	18	976,20	A	35,88
Chotañawi x Pollerita	20	841,75	B	44,71
INRA 92T.114.76 x Pollerita	20	808,24	B	46,91
Jaspe x Pollerita	20	783,57	B	48,53
INRA 92T.114.76 x Libertas	23	765,86	B	49,70
Robusta x Jaspe	20	731,78	B	51,94
Libertas x Pollerita	18	643,71	C	57,72
Chotañawi x Libertas	21	560,39	C	63,19
Robusta x Pollerita	20	488,99	C	67,88
Robusta x Libertas	20	450,09	C	70,44
Robusta x Chotañawi	21	392,15	C	74,24

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Means with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$).

Solo cinco cruza (Rob x Cho, Rob x Lib, Rob x Poll, Cho x Lib y Lib x Poll) obtuvieron heterosis negativas significativas para H, Hb y Hs; ellas conformarían el grupo de materiales consistentemente resistentes a *P. infestans*, sus valores indican disminución de la enfermedad en cualquiera de sus combinaciones y puede inferirse que su contribución alélica es la mejor.

Los valores de porcentaje de disminución de la enfermedad de la tabla 4 coincidieron con el valor de heterosis específica (tabla 5, pág. 18), es decir que la

disminución de la enfermedad es un buen estimador de la heterosis que podría ser utilizado cuando no se disponen de cruzamientos dialélicos.

Asimismo, el grupo C de cruzamientos superiores (tabla 4) coincidió con las progenies que expresaron aditividad en sus tres niveles de heterosis, esto es Rob x Cho, Rob x Lib, Rob x Poll, Cho x Lib y Lib x Poll; de allí surge que la metodología de análisis de cluster de Scott-Knott también fue precisa para identificar grupos con alta heterosis favorable.

Tabla 5. Heterosis media (H), heterobeltiosis (Hb) y heterosis específica (Hs) de AUDPC en 15 progenies obtenidas por cruzamiento de Robusta (Rob), INRA 92T.114.76 (i92), Chotañawi (Cho), Libertas (Lib), Jaspe (Jas) y Pollerita (Poll).
Table 5. Mean Heterosis (H), heterobeltiosis (Hb) and specific heterosis (Hs) of AUDPC in 15 offspring obtained by crossing Robusta (Rob), INRA 92T.114.76 (i92), Chotañawi (Cho), Libertas (Lib), Jaspe (Jas) and Pollerita (Poll).

	Heterosis	i92	Cho	Lib	Jas	Poll
Rob	H	26,4	-42,5	-31,8	-6,6	-25,9
	Hb	60,6	-35,5	-25,9	20,4	-19,6
	Hs	-35,9 ^A	-74,2 ^C	-70,4 ^C	-51,9 ^B	-67,9 ^C
i92	H		16,99	-7,1	20,7	-2,1
	Hb		30,96	7,6	22,1	13,3
	Hs		-34,94 ^A	-49,7 ^B	-24,9 ^A	-46,9 ^B
Cho	H			-23,7	16,2	14,6
	Hb			-21,3	31,8	18,1
	Hs			-63,2 ^C	-34,5 ^A	-44,7 ^B
Lib	H				36,4	-9,7
	Hb				60,1	-9,6
	Hs				-25,1 ^A	-57,7 ^C
Jas	H					-6,3
	Hb					9,7
	Hs					-48,5 ^B

Los superíndices de Hs se corresponden con los agrupamientos de Scott-Knott (tabla 4, pág. 17).
 Upper case of Hs corresponds with grouping of Scott-Knott Cluster Analysis (table 4, page 17).

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo destacan la utilidad de emplear a los parámetros de la Aptitud Combinatoria como herramientas para caracterizar e identificar progenitores; pudiendo concluir que -en el material genético evaluado- los alelos implicados en resistencia a *P. infestans* manifestaron acción génica aditiva; por lo tanto se trata de una resistencia cuantitativa.

Por su parte, los altos valores de ACG y ACE señalan -respectivamente- a Robusta como mejor progenitor y al cruzamiento Robusta x Chotañawi como mejor combinación para la resistencia a *P. infestans*.

Asimismo, la equivalencia entre los estimadores de heterosis específica y porcentaje de disminución de la enfermedad, indican que este porcentaje puede utilizarse como estimador directo de heterosis específica cuando no se disponen de cruzamientos dialélicos.

Finalmente, la magnitud de la heredabilidad de AUDPC indica que la selección por este carácter puede ser efectiva.

La clasificación de progenitores utilizando el método Scott-Knott fue precisa en relación a los niveles de resistencia a *P. infestans*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Allard, R. W. 1960. Principles of plant breeding. John Wiley and Sons. Inc., New York. 485 p.
2. Bisognin, D. A.; Douches, D. S. 2002. Genetic diversity in diploid and tetraploid late blight resistant potato germplasm. HortScience 37(1): 178-183.
3. Biswas, M. K.; Mondal, M. A. A.; Ahmed, M. G.; Hoque, A.; Hossain, M. M.; Islam, R. 2005. Study on genetic variability and heterosis in potato. Pakistan J. of Biol. Sci. 8(1): 6-9.
4. Bradshaw, J. E.; Stewart, H. E.; Watsie, R. L.; Dale, M. F. B.; Phillips, M. S. 1995. Use of seedling progeny tests for genetical studies as part of a potato (*Solanum tuberosum* subsp *tuberosum*) breeding programme. Theor. Appl. Genet 90(6): 899-905.
5. Chauhan, R.; Singh, B. P.; Pareek, L. K. 2005. Field resistance components of potato to late blight and their relative contribution towards disease resistance. Indian Phytopath. 58(1): 46-50.
6. Chesnick, J. M.; Tuxbury, K.; Coleman, A.; Burger, G.; Lang, F. 1996. Utility of the mitochondrial nad4L gene for algal and protista phylogenetic analysis. J. Phycol. 32: 452-456.
7. Cruz, C. D.; Souza, C. P. C. 2006. Modelos biométricos aplicados ao melhoramiento genético. 2ª ed. Vol 2. Editorial Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 668 p.
8. Gabriel, J.; Forqueda, F.; Plata, G.; Fernández-Northcote, E. 2007. Caracterización de genotipos de papa de Europa y Latinoamérica por resistencia a tizón y propiedades culinarias. Revista Latinoamericana de la Papa 14(1): 10-23.
10. Gardner, C. O.; Eberhart, S. A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics 22: 439-452.
9. Gardner, C. O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. Fitotec. Latinoam. 4(2): 1-12.
11. Gopal, J. 1999. General combining ability of tuberosum females whit tuberosum and andigena males in potato. J. Indian Potato Assoc. 26 (1&2): 43-49.
12. Griffing, B. 1956a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. Heredity. 10: 31-50.
13. Griffing, B. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Austr. Jour. Biol. Sc. 9: 463-491.
14. Haydar, A.; Alam, M. K.; Khokan, E. H.; Ara, T.; Khalequzzaman, K. M. 2009. Combining Ability and genetic variability studies in potato. J. Soil. Nature. 3(2): 1-3.
15. Hayman, B. I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. Genetics. 39: 789-809.
16. Hayman, B. I. 1958. The theory and analysis of diallel tables II. Genetics. 43: 63-85.
17. Haynes, K. G.; Weingartner, D. P. 2004. The use of area under disease progress curve to assess resistance to late blight in potato germoplasm. Amer. J. Potato Res. 81: 137-141.
18. Haynes, K.; Goth, R.; Lambert, D.; Christ, B. 2007. Evaluation of a short-day adapted tetraploid potato population with horizontal resistance to *Phytophthora infestans* under long-day conditions in northern Maine. Amer. J. Potato Res. 84: 459-466.
19. Henfling, J. W. 1987. El tizón tardío de la papa: *Phytophthora infestans*. II Ed. Boletín de Información Técnica No. 4. CIP Lima, Perú.
20. Jinks, J. L. 1954. The analysis of heritable variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. Genetics 39: 767-788.
21. Kaushik, S. K.; Bihman, R. K.; Singh, B. P.; Gopal, J. 2000. Combining ability and heterosis for field resistance to late blight in potato (*Solanum tuberosum*). Indian J. Agric. Sci. 70: 55-56.
22. Kempthorne, O. 1956. The theory of the diallel cross. Genetics 41: 451-459.
23. Kumar, R.; Kang, G. S.; Pandey, S. K. 2007. Inheritance of resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in potato. Euphytica 155: 183-191.
24. Landeo, J. A.; Calua, L. 1986. Combining ability analysis for field resistance to late blight in potato seedlings. Am. Potato J. 63(8): 438.
25. Landeo, J. A.; Gastelo, M.; Beltran, G.; Díaz, L. 2000. Quantifying genetic variance for horizontal resistance to late blight in potato breeding population B3C1. CIP Program report 1999-2000. International Potato Centre, Perú. 63-68 p.
26. Luthra, S. K. 2006. Selection of superior parents and crosses based on progeny mean an heterosis in potato. Haryana J. Hortic. Sci. 35 (3&4): 306-309.

27. Malcolmson, J. F. 1976. Assessment of field resistance to blight (*Phytophthora infestans*) in potatoes. Trans. Br. Mycol. Soc. 67: 321-325.
28. Mantecón, J. D. 2007. Potato yield increases due to fungicide treatment in Argentinian early blight (*Alternaria solani*) and late blight (*Phytophthora infestans*). Field Trials During the 1996-2005 Seasons. Online. Plant Management Network. Plant Health Progress, February 2007.
29. Martin, J. M.; Talbert, L. E.; Lanning, S. P.; Blake, N. K. 1995. Hybrid performance in wheat as related to parental diversity. Crop Sci. 35: 104-108.
30. Martínez Garza A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Ed. Trillas, p. 583-620.
31. Matos Andrade, T.; Lasmar, A.; Maluf, W. R.; Gomes, L. A. A. de Sousa Gonçalves, R. J.; Blank, A. F. 2015. Gene action associated with heterosis expression in scarlet eggplant (*Solanum gilo* Raddi.). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 19-31.
32. Orozco, L. F.; Ramírez, F. L. A.; Cotes, T. J. M. 2013. Evaluation of the heritability of resistance to *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary in a population of *Solanum phureja* Juz et Buk. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 66(1): 6833-6843.
33. Ruiz, S. T. 2010. Estudios de la heredabilidad de la resistencia a horizontal a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary causante de la "Gota" en la especie diploide de papa *Solanum phureja* Juz. et Buk. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias Énfasis Genética y Fitomejoramiento. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 115 p.
34. SAS Institute Inc. 1989. SAS/IML Software: Usage and Reference, Version 6, First Edition. Cary, N. C. 501 p.
35. Scott, A. J.; Knott, M. 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. Biometrics. 30(3): 507-512.
36. Shaner, G.; Finney, R. E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow mildewing resistance in Knox wheat. Phytopathology 67: 1051-1056.
37. Sprague, G. F.; Tatum, L. A. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. J. Amer. Soc. Agron. 34: 923-932.
38. Tai, G. C. C. 1976. Estimation of general and specific combining abilities in potato. Can. J. Genet. Cytol. 18: 463-470.
39. Tan, M. Y. A.; Hutten, R. C. B.; Visser, R. G. F.; van Eck, H. J. 2010. The effect of pyramiding *Phytophthora infestans* resistance genes R Pi-mcd1 and R Pi-ber in potato. T. A. Gen. 121:117-125.
40. Thompson, P. G.; Mendoza, H. A. 1984. Genetic variance estimates in a heterogeneous potato population propagated from true potato seed (TPS). Am. Potato J. 11: 697-702. (38-39)
41. Walker, T. S.; Schmiediche, P. E.; Hijmans, R. J. 1999. World trends and patterns in the potato crop: an economic and geographic survey. Potato Res. 42: 241-364.
42. Zúñiga, L. N. 2000. Resistencia al tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) en cruzamientos de cultivares y clones de papa (*Solanum tuberosum* L.). Rev. Mex. Fitopatol. 18(1): 1-9.

AGRADECIMIENTOS

A: Dr. José Ignacio Cubero Salmerón, Dra. Teresa Millán Valenzuela, Dra. Paola Lax, Dr. Ramiro N. Curti y M. Sc Berta Velásquez, por brindarme sus contribuciones conceptuales y su calidad humana.

Método de selección en explantes *in vitro* de *Opuntia* sps. con resistencia a la mancha negra causada por *Pseudocercospora opuntiae*

In vitro* selection method in explants of *Opuntia* sps. with resistance to black spot caused by *Pseudocercospora opuntiae

María Judith Ochoa ^{1,2,3}, Luis Rivera-López ³, Juan Florencio Gómez-Leyva ³

Originales: *Recepción*: 08/09/2015- *Aceptación*: 30/09/2015

RESUMEN

La mancha negra del nopal; provocada por *Pseudocercospora opuntiae* es una enfermedad difundida entre los sistemas productivos de nopal. El proceso de patogénesis, comprende un período de incubación de 90 días y el desarrollo de los síntomas puede ocurrir en 25 días. Sin embargo, aún es limitada la información del patosistema de *P. opuntiae* en *Opuntia* sps. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de productos extracelulares y esporas de *P. opuntiae* sobre plántulas de nopal en condiciones *in vitro*. Se evaluó tres genotipos provenientes de embriones cigóticos y dos genotipos de selección a campo caracterizados como tolerante (T) y resistente (R) a *P. opuntiae*. Se inoculó plántulas de *Opuntia in vitro* con el extracto extracelular y una suspensión de 10⁸ conidios ml, se evaluó el daño a los 15, 30, 45 y 60 días posterior a la inoculación (dpi). Después de 60 dpi se presentaron los síntomas en explantes inoculados con el hongo puro, mientras los productos de excreción del hongo en medio líquido mostraron capacidad de provocar síntomas similares al inóculo fúngico. Estos resultados demuestran que *P. opuntiae* infecta explantes de *Opuntia* bajo condiciones de cultivo *in vitro*, lo que podría ser una herramienta importante en la selección de genotipos resistentes de *Opuntia* sps. a la mancha negra.

Palabras clave

mancha negra • *Opuntia* • selección *in vitro* • extracto fúngico

-
- 1 Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Avda. Belgrano (S) 1912 (4200), Santiago del Estero, Argentina. mariajudith8a@gmail.com
 - 2 Departamento de Botánica y Zoología, Universidad de Guadalajara. A. Post. 1-139, Zapopan, Jalisco 45101, México.
 - 3 ITT, Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Km 10 Carretera a San Miguel Cuyutlán, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 45640. México.

ABSTRACT

The black spot cactus is caused by *Pseudocercospora opuntiae* a disease spread among production systems. The process of pathogenesis, comprising an incubation period of 90 d. and the development of symptoms can occur in 25 d.; however, is still limited information pathosystem *P. opuntiae* in *Opuntia* sps. This study aimed to evaluate the effect of extracellular products and spores of *P. opuntiae* on cactus pear under *in vitro* conditions. Three genotypes from zygotic embryos and two genotypes product of field selection which were characterized as tolerant (T) and resistant (R) to *P. opuntiae* were evaluated. *Opuntia in vitro* seedlings were inoculated with the extracellular extract and a suspension of 10^8 conidia m/l, the damage at 15, 30, 45 and 60 d. post-inoculation (dpi) were evaluated. After 60 dpi symptoms occurred in explants inoculated with pure fungus, while the excretion products of the fungus in liquid medium showed ability to induce symptoms similar to fungal inoculum. These results demonstrate that *P. opuntiae* infected *Opuntia* explants under *in vitro* culture conditions, which could be an important tool in the selection of resistant genotypes to black spot in *Opuntia* sps.

Keywords

black spot • *Opuntia* • *in vitro* selection • fungal extract

INTRODUCCIÓN

La mancha negra del nopal; provocada por *Pseudocercospora opuntiae* (2, 13, 14), es una enfermedad difundida en los sistemas productivos de nopales de México y Argentina (3). La enfermedad ha sido detectada en cladodios de más de seis meses de edad con lesiones color café a negro, las cuales inician con la presencia de puntos pequeños color olivo que aumentan de tamaño y cambian a un color café oscuro (13).

El tiempo desde la aparición de los primeros síntomas hasta que las lesiones se desarrollan varía entre 25 a 40 días dependiendo del grosor y la edad del cladodio (7, 15).

El proceso de patogénesis, de acuerdo con la biología del patógeno indica que el período de incubación toma alrededor de 104 días y el desarrollo de los síntomas ocurre en 25 días en cladodios de 6 meses de edad. Sin embargo, aún es limitada la

información sobre el proceso de patogénesis que se desencadena una vez que existe el reconocimiento entre patógeno y hospedante. Por otro lado no se conoce si *P. opuntiae* tiene la capacidad de infectar tejidos jóvenes (explantes *in vitro*), ya que en condiciones de campo se ha observado que los cladodios jóvenes de menos de 6 meses, cosechables en los sistemas productivos de nopal verdura y forraje, no presentan síntomas de la enfermedad.

Recientemente se ha reportado el proceso de patogénesis en cortes histológicos de cladodios enfermos, donde se informa que el patógeno invade intracelularmente cavidades subestomáticas, el colénquima y clorénquima, causando plasmólisis y desintegración de los cloroplastos (10, 15).

Las estrategias de control de la enfermedad en los últimos años se han basado en la utilización de productos químicos

a base de Oxiclورو de cobre, Benomil y Mancozeb entre otros (11), los cuales son aplicados por el 68,5% de los productores sin tener en cuenta el ciclo del patógeno por lo que la enfermedad no ha sido controlada.

En el control de la mancha negra, también se ha empleado el quitosano el cual disminuyó el crecimiento *in vitro* de *Collectotrichum gloeosporoides* y *Fusarium lunatum* ambos patógenos asociados con la mancha negra (4).

Ochoa *et al.* (2015) sugieren como estrategia para el control de la enfermedad, el empleo de genotipos resistentes provenientes de selección masal y la utilización de plántulas de semillas, que puedan mostrar resistencia mediante el intercambio genético.

La obtención de genotipos resistentes a *Pseudocercospora* es una prioridad a partir de la aparición de la enfermedad en México. Para ello es necesario evaluar un sistema donde se puedan comprobar los postulados de Koch, empleando tanto el hongo puro como sus extractos extracelulares sobre explantes de *Opuntia* desarrollados a partir de embriones cigóticos bajo condiciones *in vitro*.

El empleo de fitotoxinas de patógenos ya sea de naturaleza proteica o compuestos de bajo peso molecular, como agentes de selección *in vitro* es una de las técnicas que se utiliza para obtener somaclonales resistentes a una enfermedad, teniendo como premisa fundamental que la resistencia debe manifestarse a nivel *in vitro* (6). Para ello generalmente se estudia la respuesta de variedades de comportamiento conocido en cuanto a la resistencia o susceptibilidad a la enfermedad y su posible diferenciación a este nivel. Estudios de este tipo se han realizado con *P. fijiensis* sobre su posible producción de toxinas (5).

Las fitotoxinas tienen dos propiedades importantes: son activas a muy bajas concentraciones y son móviles dentro de la planta y por lo tanto pueden actuar a distancia del sitio de infección (16).

Por otro lado, en la interacción *Pseudocercospora-Opuntia* no se tienen estudios sobre la selección de genotipos resistentes a la enfermedad mediante la utilización de extractos extracelulares del patógeno.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente estudio se evaluó la patogenicidad de *P. opuntiae* y componentes extracelulares sobre explantes de nopal provenientes de semillas y selección a campo bajo condiciones *in vitro*. Los resultados obtenidos permitirán establecer un sistema para la obtención de somaclonales resistentes a la mancha negra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Los genotipos utilizados fueron obtenidos de semillas de frutos de nopal colectados en las zonas productoras de Santa Lucía, Zapopan 20°79'12" N, 103°37'30" O y 1420 m s. n. m., Jalisco.

Las semillas fueron sembradas en medio basal MS (12) bajo condiciones asépticas de cultivo y colocadas a 27°C.

A dos semanas de su germinación los embriones fueron separados, los cigóticos de los somáticos de acuerdo con Vélez-Gutiérrez *et al.* (1996). Estos explantes de *Opuntia* se establecieron durante 60 días para su endurecimiento en medio MS sin reguladores de crecimiento; fueron denominados como: G₂, G₆, G₇ y los genotipos tolerante (T) y resistente (R), elegidos mediante selección a campo y pruebas de patogenicidad a *P. opuntiae* (13).

Los explantes se transfirieron en dos sustratos inertes: arena y perlita, para evitar el desarrollo de *P. opuntiae* en el medio; se establecieron bajo condiciones de 26°C 16h luz/ 8h, durante 60 d cada 15 d se les agregó 5 ml de medio MS al 25% para su nutrición.

Para los experimentos de infección con *Pseudocercospora* y el extracto fúngico se empleó 3 plantas de cada genotipo por sustrato.

Material microbiológico

Para las pruebas de patogenicidad se empleó un aislamiento de *P. opuntiae* tomado de plantaciones comerciales de *Opuntia* (11), la cepa creció en medio (Extracto de Malta MEA 2%) durante 60 d. Se preparó una suspensión conoidal 1×10^8 ml.

Obtención del extracto de *Pseudocercospora opuntiae*

El extracto extracelular de *P. opuntiae* se obtuvo de un cultivo en medio líquido papa dextrosa (PDB) por 60 d en agitación constante a temperatura ambiente.

Al término de este período el micelio del hongo fue eliminado, se centrifugó el medio de cultivo a 12000 rpm durante 15 min en dos ocasiones.

Una vez centrifugado se recuperó el sobrenadante y se filtró con una membrana de 0,2 μ m.

El extracto obtenido fue incorporado en placas con PDA en proporción de 10 ml.L⁻¹ para evaluar la presencia del hongo (figura 1).

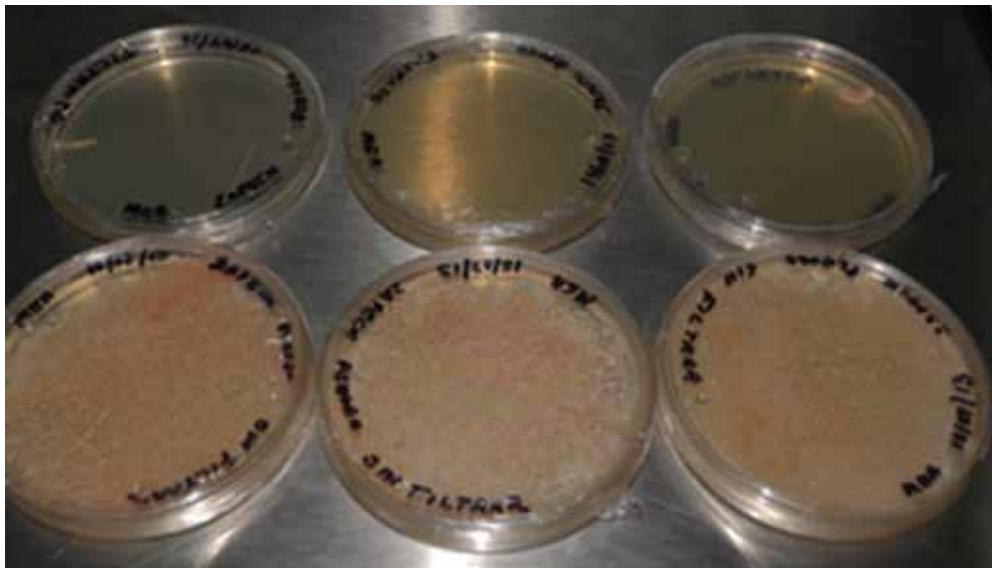


Figura 1. Evaluación de la efectividad del extracto de *P. opuntiae*: arriba filtrado, debajo sin filtrar.

Figure 1. Evaluation of effectiveness of *P. opuntiae* extract: up filtered, unfiltered below.

Reacción de enzimas del extracto de *Pseudocercospora opuntiae*

Para determinar factores de patogenicidad relacionados con la actividad de enzimas hidrolíticas en el extracto fúngico extracelular, se evaluó las actividades *in vitro* de las enzimas amilasa, proteasa y celulasa. Se preparó en cajas de Petri con los siguientes sustratos (tres por cada reacción).

Almidón

(1%): 1g de almidón se disolvió con 100 ml agua destilada fría, se adicionó 1g de agar-agar y 1ml buffer fosfato 1M, se calentó en microondas durante 1 min para disolver el agar- agar y se esterilizó a 121°C, acto seguido se realizó el vaciado en las caja Petri en condiciones estériles bajo campana de flujo laminar.

Reacción a la solución de Lugol: yodo I_2 5g.l⁻¹ yoduro de potasio KI, 10g.l⁻¹, agua destilada 85 ml, la solución de Lugol se colocó sobre las cajas de Petri y se observó la reacción al cabo de 15 min (22).

Proteasa

1g de caseína se disolvió con 10 ml agua destilada. Por separado a 90 ml de agua destilada se le adicionó 1 gota de ClCa 1M y 1g de agar, se calentó en microondas durante 1 min para disolver el agar y se esterilizó a 121°C y 1,1 kg cm por 15 min. Cuando la solución está a 40°C se adicionó la solución de caseína agitando manualmente y finalmente se realizó el vaciado en cajas Petri en condiciones estériles bajo campana de flujo laminar.

Reacción al azul de Comassie (20).

Celulosa

(1%), 1g de celulosa (Sigma®) se disolvió en 100 ml agua destilada con 1g

de agar y 1 gota de CaCl₂ 1M, se calentó en microondas durante 1 min para disolver el agar y se esterilizó a 121°C y 1,1 kg cm por 15 min. Luego, se realizó el vaciado en cajas Petri en condiciones estériles bajo campana de flujo laminar. Reacción en UV (Entela 8W Model UVLms-38), se sometió a la luz UV - 365 nm con Calco Fluor Stain (Sigma-Aldrich) (21).

Se colocó papeles de filtro estériles en las cajas de Petri preparadas para cada reacción y se agregó en la campana de flujo laminar 20, 50 y 100 µl respectivamente del extracto de *P. opuntiae*.

Posteriormente, en cada reacción enzimática, se midió el halo formado alrededor del papel de filtro con las diferentes concentraciones del extracto fúngico.

Inoculación de explantes *in vitro*

Se realizó dos experimentos por separado en los cuales se evaluó la patogenicidad del hongo puro y su extracto en los explantes de los genotipos G₂, G₆ y G₇ (provenientes de semilla), R y T (seleccionados a partir de pruebas de patogenicidad). Los mismos se establecieron en dos sustratos inertes 1: arena, 2: perlita. Los explantes fueron inoculados con 50µl del extracto fúngico y 50µl de suspensión conoidal 1x10⁻⁸ ml; la inoculación se realizó en la parte media de cada explante utilizando una aguja hipodérmica, las plantas control se inocularon con agua destilada estéril.

La patogenicidad del hongo y del extracto se evaluó a los 15, 30, 45 y 60 d, mediante el seguimiento de una escala arbitraria de severidad de la enfermedad (figura 2, pág. 27).

Se utilizó un diseño completamente al azar.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó pruebas de análisis multifactorial para estimar las mejores condiciones de infección en relación con los sustratos e inóculos probados; también se realizó un análisis de varianza para evaluar la severidad de los síntomas provocados por ambos inóculos, utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS. 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reacción de enzimas del extracto de *P. opuntiae*

Referente a la actividad enzimática del extracto extracelular de *P. opuntiae* obtenido a partir del medio PDB, se observó la degradación *in vitro* de los sustratos preparados, por las enzimas amilasa, celulasa y proteinasa en todas las concentraciones probadas (20, 50, 100 µl) (figura 3, pág. 27).

La degradación del sustrato se observa con la formación de un halo concéntrico alrededor del disco de papel filtro que contenía el extracto del hongo. Estos resultados sugieren que el hongo secreta estas enzimas de forma extracelular en el medio de cultivo, posiblemente para degradar y asimilar algunos de sus componentes. Asimismo estos compuestos podrían relacionarse en mayor o menor grado con el proceso de patogénesis y la manifestación de los síntomas de la enfermedad en *Opuntia* junto con la producción de toxinas.

Estudios de este tipo se han realizado con *P. fijiensis* sobre su posible producción de toxinas (5).

Se sabe que estas enzimas (amilasa, celulasa y proteinasa) además de otras fitotoxinas pueden actuar sobre los componentes estructurales de la pared celular de los vegetales (17).

La producción *in vitro* de fitotoxinas en medios de cultivos ha sido reportada para diferentes especies de hongos (9, 18) y la importancia de los extractos fúngicos de sus cultivos está siendo ampliamente estudiada, ya que se ha demostrado que en estos se encuentran diferentes compuestos que producen síntomas en las plantas (8).

Arango *et al.* (2010) demostraron que la variación en las condiciones de luz, el tiempo de fermentación y el aislamiento, se relaciona con la fitotoxicidad de los extractos; por lo que estudios posteriores podrán describir los componentes del extracto extracelular de *P. opuntiae*.

Inoculación de explantes *in vitro*

Los genotipos estudiados mostraron diferencias después de 60 d en cuanto a la severidad de la infección (tabla 1).

Tabla 1. Análisis estadístico multifactorial de sustratos, inóculos y genotipos. T: Tolerante, R: Resistente, G_{2,6,7}: Genotipos cigóticos.

Table 1. Multifactorial statistical analysis of substrates, inoculum and genotypes. T: Tolerant, R: Resistant, G_{2,6,7}: zygotic genotypes.

Factor	Severidad de la infección
Sustrato	
Arena	1,15 ^a
Perlita	1,35 ^a
Inóculo	
Extracto fúngico	0,8 ^b
Hongo puro	1,7 ^a
Genotipo	
G ₂	1,87 ^b
G ₆	0,75 ^c
G ₇	2,62 ^a
T	0,87 ^c
R	0,12 ^c

* Letras diferentes, muestran diferencias estadísticas entre los tratamientos. Tukey HSD $p \leq 0,05\%$.

* Different letters show statistical differences between treatments Tukey HSD $p \leq 0.05\%$.

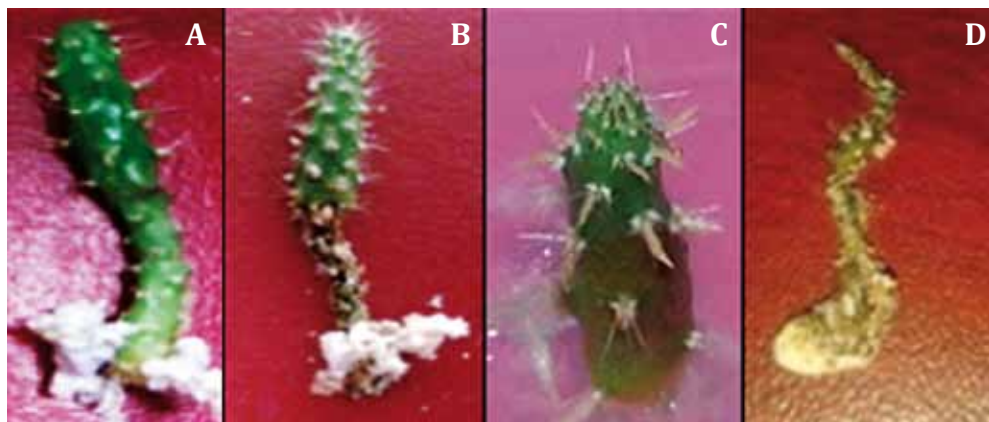


Figura 2. Evolución de síntomas en explantes: A: explante sano, B: necrosis en el punto de inoculación, C: tejido acuoso sin avance, D: explante necrosado, muerto.

Figure 2. Symptoms evolution in explants: A: explant healthy, B: necrosis in the inoculation, C: aqueous tissue progression, D: necrotic dead explant.

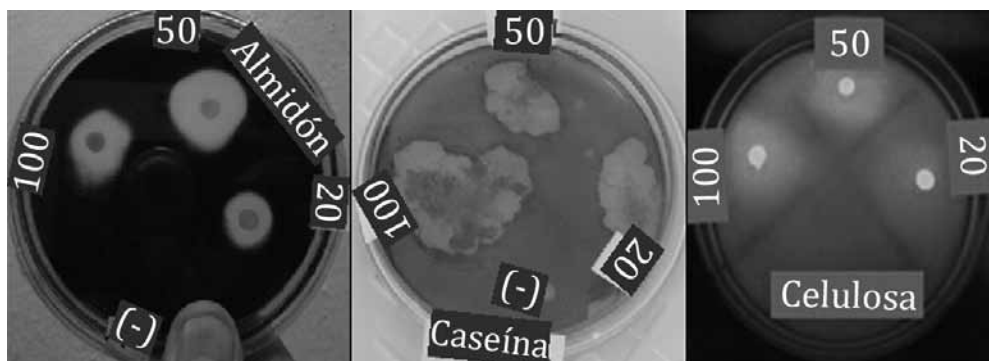


Figura 3. Actividad enzimática de *P. opuntiae* a) almidón, b) caseína, c) celulosa.

Figure 3. Enzymatic activity *P. opuntiae* a) starch, b) casein, c) cellulose.

Respecto de las condiciones de infección, extracto y hongo puro, relacionadas con el origen del sustrato (arena y perlita), no existen diferencias significativas en la severidad de los síntomas, el sustrato no influye en la interacción planta-patógeno.

Probar sustratos inertes en la infección con *Pseudocercospora* se realizó con el objetivo de que el hongo no tuviera un sustrato rico para desarrollarse, esto lo obligó a crecer directamente sobre el explante, con

ello se aceleraría el proceso de infección, lo cual descarta cualquier posibilidad de enmascaramiento de los resultados provocado por los componentes del medio de cultivo.

Después de 60 d de la inoculación la severidad de la infección fue mayor y se presentó en un menor tiempo en explantes inoculados con el hongo puro. Estos resultados demuestran que *P. opuntiae* tiene la capacidad de infectar explantes de *Opuntia* bajo condiciones de cultivo *in vitro*.

Sin embargo, en condiciones de campo no se observa infección en cladodios de menos de 6 meses de edad, lo cual pudiera estar relacionado con el largo período de incubación del hongo 120 d (13), por lo que no presentan síntomas de la enfermedad. Estos son los utilizados como nopal verdura o forraje y representaría una estrategia de "convivencia" con la enfermedad en los sistemas productivos que utilizan cladodios de esta edad.

Por otra parte, se observa que el extracto fúngico tiene la capacidad de generar patogenicidad en explantes de *Opuntia* (figura 3, pág. 27), lo cual concuerda con otros estudios sobre la patogenicidad de extractos de hongos fitopatógenos (18).

Su efecto provoca una menor severidad en el desarrollo de los síntomas, los cuales tardan más tiempo en aparecer en comparación con el hongo puro, dicha patogenicidad pudiera estar relacionada con la producción de enzimas hidrolíticas (celulasa, amilasa, y proteasa) en combinación con fitotoxinas, estudios sobre el perfil proteico de extractos de *P. opuntiae* en los medios PDB, Czapeck, V8 mostraron diferencias en el contenido de las proteínas secretadas en cada medio de cultivo (datos no mostrados).

Estudios similares se han reportado para extractos de *Colletotrichum*, donde se demostró que en los mismos se encuentran metabolitos fitotóxicos generados por el hongo, los cuales inducen en la plantas hospederas síntomas similares a los producidos por los hongos; Theerthagiri *et al.* (2008) y Yoshida *et al.* (2000) demostraron la presencia de toxinas no específicas en los extractos del hongo *C. dematium* que provoca lesiones necróticas en hojas de diferentes plantas como mora (*Morus* sp.), rábano (*Raphanus* sp.), durazno (*Prunus* sp.) entre otros.

Respecto de los genotipos evaluados, los denominados como R, T y G₆ después de 60 días después de la inoculación (ddi) mostraron el menor índice de severidad de la enfermedad tanto con el inóculo proveniente del extracto, como con el hongo puro. Por lo cual son genotipos seleccionados para su propagación como resistentes a *P. opuntiae*.

Los genotipos G₂ y G₇ mostraron los índices más altos en la severidad de la enfermedad por los que se consideran genotipos susceptibles a *P. opuntiae* (figura 4, pág. 29).

Específicamente en estos genotipos se observó un efecto del extracto sobre el desarrollo de síntomas, se concluye que los extractos de *P. opuntia* obtenidos mediante el método propuesto en este estudio pueden ser utilizados para la selección de explantes resistentes a *P. opuntiae* en condiciones *in vitro*.

Respecto de la evolución de la severidad de la enfermedad en el tiempo se observó que el genotipo G₂ a los 15 ddi, el 50% de las plantas infectadas presentaban tejido acuoso sin translocación (síntoma 2), el 50% restante presentó necrosis total (síntoma 3). Estos síntomas se mantuvieron los primeros 30 d. A partir de los 45 d todas las plantas presentaron necrosis total (figura 4 A, pág. 29).

El genotipo G₆ desde los primeros 15 ddi, el 100% de las plantas infectadas presentó tejido necrosado en el punto de inoculación, este síntoma se mantuvo hasta los 60 d (figura 4 C, pág. 29).

El genotipo G₇ a los 15 ddi no presentó síntomas de enfermedad en el 50% de las plantas infectadas, mientras que el restante 50% presentó necrosis total (síntoma 3). A los 60 ddi todas las plantas presentaron necrosis total (figura 4 E, pág. 29).

En el genotipo tolerante (T) los síntomas se presentaron más lentamente en los primeros 15 ddi, todos los explantes inoculados estaban sanos.

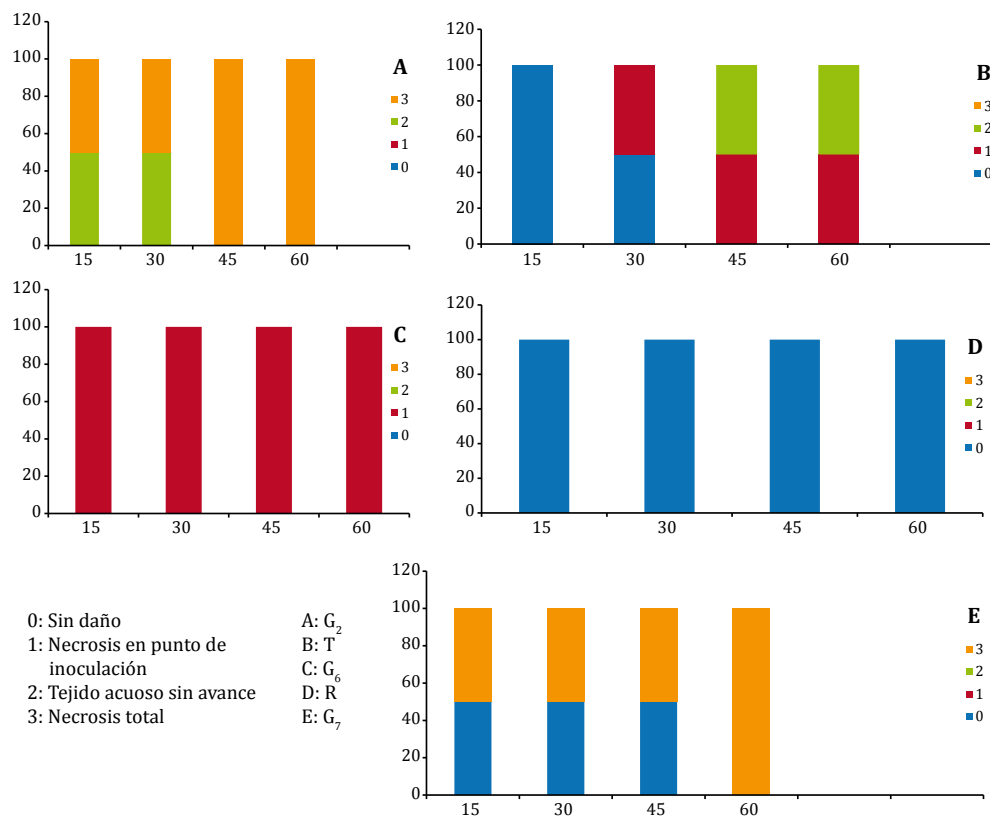


Figura 4. Evolución de los síntomas respecto del tiempo 15, 30, 45 y 60 días después de la inoculación de cada uno de los genotipos evaluados A: G_2 , B: T (tolerante), C: G_6 , D: R (Resistente), E: G_7 .

Figure 4. Symptoms evolution over time 15, 30, 45 and 60 days after inoculation of each of genotypes A: G_2 , B: T (tolerance), C: G_6 , D: R (resistant) E: G_7 .

A los 30 ddi el 50% de las plantas siguieron sanas, mientras que el 50% restante presentó necrosis en el punto de inoculación (síntoma 1).

Finalmente a los 45 ddi el 50% siguió presentando síntoma 1 y el 50% restante síntoma 2. Estos síntomas se mantuvieron hasta los 60 ddi.

Por otra parte, en el genotipo resistente, ninguna de las plantas inoculadas presentó síntomas de daño por el hongo (figura 4).

CONCLUSIONES

Se obtuvo un extracto del cultivo de *P. opuntiae*, el cual tiene actividades enzimáticas de amilasa, celulasa y proteasa, enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular vegetal.

Referente a las condiciones de infección, se observó que el sustrato (arena y perlita) no influyen en la interacción planta-patógeno.

Después de 60 ddi la severidad de la infección fue mayor y se presentó en menor tiempo en explantes inoculados con el hongo puro por lo cual se demuestra que *P. opuntiae* tiene la capacidad de infectar explantes de *Opuntia* bajo condiciones de cultivo *in vitro*.

Asimismo, se comprueba que el extracto del cultivo de *P. opuntiae* tiene la capacidad de generar patogenicidad en explantes jóvenes de *Opuntia* y síntomas similares a los producidos por el hongo

puro, su efecto provoca una menor severidad en el desarrollo de los síntomas, los cuales tardan más tiempo en aparecer en comparación con el hongo.

Respecto de los genotipos evaluados, los denominados R, T y G₆ después de 60 ddi, mostraron menor índice de severidad de la enfermedad tanto con el inóculo proveniente de extracto, como con el hongo puro, por lo que sugiere tienen resistencia frente a *P. opuntiae*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arango S.; Hoyos R.; Afandor L. 2010. Actividad fitotóxica del filtrado crudo de *Colletotrichum gloeosporioides* en cardamomo (*Elettaria cardamomum*). *Tecnológicas*. 24: 41-57.
2. Ayala-Escobar, V.; Yañez-Morales M. J.; Braun U.; Groenewald J. Z.; Crous P. W. 2006. *Pseudocercospora opuntiae* sp. nov. the causal organism of cactus leaf spot in Mexico. *Fungal Diversity*. 21: 1-9.
3. Chiotta, M. L.; Chulze, S.; Barros, G. 2015. Fuentes de inóculo de especies de *Fusarium* potenciales productoras de micotoxinas en el agroecosistema soja. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(2): 171-184.
4. Flores Flores, R. 2012. Identificación de hongos asociados a la mancha negra del nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill) y su sensibilidad al quitosano. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México.
5. Frison, E.; Orjeda, G.; Sharrock S (eds.) 1997. Proceedings of meeting held in Gosier, Guadalupe. International network for the improvement of banana and plantain. INIBAP. Montpellier.
6. García L.; Herrera, L.; Clavero, J.; Bermúdez, I.; Veitia, N.; Acosta, M. 2004. Efecto del filtrado de cultivo de *Pseudocercospora fijensis* Morelet sobre yemas adventicias de cultivares de *Musa* spp. *Biotechnología vegetal*. 1: 21-25.
7. Grünwaldt, J. M.; Guevara, J. C.; Grünwaldt, E. G.; Martínez Carretero, E. 2015. Cacti (*Opuntia* spp.) as forage in Argentina dry lands. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 263-282.
8. Jayasankar, S.; Litz, R. E.; Gray, D. J.; Moon, P. A. 1999. Responses of Embryogenic mango cultures and seedling bioassays to a partially purified phytotoxin produce by a mango leaf of *Colletotrichum gloeosporioides* Penz, *In Vitro Cell Developed Biology Plant*. 475-479.
9. Mathew, A.; Wolf-Rainer, A.; Robert, A.; Peter, H.; Gerhard, W.; Step, H. 2009. Secondary metabolite profile and phytotoxic activity of genetically distinct forms of *Colletotrichum gloeosporioides* from yam (*Dioscorea* spp.). *Mycological Research*. 113(1): 130-140.
10. Monda E. O.; Sanders F. E.; Hick, A. 2001. Infection and colonization of bean leaf by *Phaeoisariopsis griseola*. *Plant Pathology*. 50: 103-110.
11. Morales, L. J.; Hernández, L. 2002. Efecto de fungicidas en el control de la mancha foliar del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* Mill) en Tlaneplanta, Morelos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México.
12. Murashige, T.; Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant*. 15: 473-497.

13. Ochoa M. J.; L. Á. Rivera, R. I. Arteaga-Garibay, M. D. Martínez Peña, J. I.; Portillo, L. 2015. Black spot caused by *Pseudocercospora opuntiae* in cactus pear productive systems of Jalisco, Mexico. JPACD. 17: 1-12 p.
14. Quezada-Salinas, J.; Sandoval Islas, S.; Alvarado Rosales, D.; Cárdenas Soriano, E. 2006. Etiología de la mancha negra del nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill.) en Tlanepantla, Morelos, México. Agrociencia. 40: 641-653.
15. Quezada-Salinas, J.; Sandoval Islas, S.; Alvarado, R. D.; Moreno, M. 2013. Histopatología y patogénesis de *Pseudocercospora opuntiae* en nopal. Revista Mexicana de Micología. 38: 9-18.
16. Svabova, L.; Lebeda, A. 2005; In Vitro Selection for Improved Plant Resistance to Toxin-Producing Pathogens, J Phytopathology. 153: 52-64.
17. Theerthagiri, A.; Ramanujam, B.; Thiruvengadam, R.; Gandhi, K.; Manikam, R.; Govindasamy, S. 2008. Production of cell wall degrading enzymes and toxins by *Colletotrichum capsici* and *Alternaria alternata* causing fruit rot of chillies, Journal of plant protection research. 48: (4).
18. Van den Bulk, R. W. 1991. Application of cell and tissue culture and in vitro selection for disease resistance breeding a review, Euphytica. 56: 269-285.
19. Vélez-Gutiérrez, C. B.; Rodríguez-Garay, B. 1996. Microscopic Analysis of Polyembryony in *Opuntia ficus-indica*. JPACD. Vol 1: 40-48.
20. Vijayaraghavan, P.; Prakash Vincent, S. G. 2013. A simple method for the detection of protease activity on agar plates using bromocresolgreen dye J Biochem Tech. 4(3): 628-630.
21. Wolger, E.; Wallace, L.; Liu, A.; Kaper, T.; Kelemen, B. 2010. Determination of Product Inhibition of CBH1, CBH2, and EG1 Using a Novel Cellulase Activity Assay Applied Biochemistry and Biotechnology. 161(1): 313-317.
22. Xiao, Z.; Storms, R.; Tsang, A. 2015. A quantitative starch-iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities Analytical Biochemistry.
23. Yoshida, S.; Hiradate, S.; Fujii, Y.; Shirata, A. 2000. *Colletotrichum dematium* produces phytotoxins in anthracnose lesions of mulberry leaves, Phytopathology. 90: 285-291.

Sapling growth, water status and survival of two native shrubs from the Monte Desert, Mendoza, Argentina, under different preconditioning treatments

Crecimiento, estado hídrico y supervivencia de plantines de dos arbustos nativos del Desierto del Monte, Mendoza, Argentina, sometidos a diferentes tratamientos de acondicionamiento

María Emilia Fernández ¹, Carlos Bernardo Passera ², Mariano Anibal Cony ³

Originales: *Recepción:* 17/09/2015- *Aceptación:* 17/12/2015

ABSTRACT

Revegetation in arid zones poses numerous challenges, due particularly to drought, extreme temperatures, high irradiance, and infertile soils, factors which threaten the survival of installed saplings. Nursery techniques to avoid transplant shock focus on manipulating the watering regime so as to favor the acclimation of seedlings to unfavorable field conditions. In order to analyze the suitability of drought preconditioning treatments, analyzed the effects of water stress on sapling growth, water status and survival on two native shrub species of the Monte Desert. It was used a randomized experimental design with one fixed factor, with three levels of water supply: control (T1), moderate stress (T2), and severe stress (T3). Preconditioning treatments had a detrimental effect on the growth of saplings of both species, as it was clearly shown in the reduction of leaf area, sapling height, stem diameter, and biomass. Shoot-to-root ratio decreased significantly under T3 in both species, and they showed highly negative water potentials and low stomatal conductance under this treatment. Sapling survival decreased only under T3. Moderate water stress seems more suitable for preconditioning this species since it reduces growth, leaf area and leaf conductance without seedling mortality and maintaining a good growth rate.

Keywords

Capparis atamisquea • *Larrea cuneifolia* • water potential • stomatal conductance • Monte biogeographic region • preconditioning treatments

-
- 1 Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Almirante Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza, Argentina. M5528AHB. mefernandez@mendoza-conicet.gob.ar
 - 2 Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.
 - 3 Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA), CONICET, CCT-Mendoza.

RESUMEN

La revegetación de zonas áridas presenta numerosos desafíos, debido a las condiciones de sequía, temperaturas extremas, elevada irradiación y baja fertilidad de los suelos. Las técnicas de vivero que evitan el shock del trasplante se enfocan en manipular el riego para favorecer la aclimatación de los plantines a las condiciones desfavorables del campo. Para evaluar la utilidad del precondicionamiento, se analizó los efectos del estrés hídrico en el crecimiento, estado hídrico y sobrevivencia de plantines de dos especies arbustivas nativas del Desierto del Monte. Se utilizó un diseño experimental al azar con un factor fijo, con tres niveles de riego: control (T1), estrés moderado (T2) y estrés severo (T3). Los tratamientos de precondicionamiento tuvieron un efecto negativo en el crecimiento de los plantines, lo que se evidenció por la reducción del área foliar, altura, diámetro del tallo y biomasa. La relación vástago/raíz disminuyó bajo T3 en ambas especies, y presentaron potenciales hídricos y conductancias estomáticas menores a las plantas con mayor disponibilidad hídrica. La supervivencia disminuyó solamente bajo T3. El estrés hídrico moderado parece más adecuado para precondicionar estas especies ya que reduce su crecimiento, área foliar y conductancia foliar sin que haya mortandad de plantines, manteniendo buenas tasas de crecimiento.

Palabras clave

Capparis atamisquea • *Larrea cuneifolia* • potencial hídrico • conductancia estomática • región biogeográfica del Monte • tratamientos de precondicionamiento

INTRODUCTION

Arid lands occupy 70% of the total area of Argentina and it stretches over three-biogeographic Provinces: Patagonia, Puna, and Monte (6). The Monte region is located in the western area of Argentina, covering approximately 460.000 km² (45). This region presents water deficit most of the year and it has an average annual rainfall ranging from 30 to 350 mm, with a mean temperature between 13 and 18°C (30, 45). Some areas present moderate to severe degree of native ecosystem degradation. Human activities have been suggested as the main causes of degradation processes (14, 43). To reverse these processes, a revegetation program would be the starting point to reach ecosystem restoration.

As restoration actions carried out using seeds had little success (11), the most common revegetation method consists in the introduction of one-or two-year-old saplings (19, 38). These activities in arid zones pose numerous challenges (1, 50), due particularly to drought conditions, extreme temperatures, high irradiance, and infertile soils, along with grazing, all of which threaten the survival of installed saplings (20, 26).

Shrub species play an important role in arid land revegetation, since in several cases, they act as "nurse plants" improving microclimatic conditions, increasing water and nutrient availability, and offering protection against herbivory (4, 7, 47).

These conditions may benefit survival and growth of other species under their canopies (5, 13, 21, 28, 36, 41), and thus, will facilitate the natural revegetation of these areas.

Revegetation with native evergreen shrubs is desirable, but techniques for successful establishment of these species are not fully developed. Transplant shock is one of the major obstacles for plantation success. This shock is the initial short-term stress experienced by saplings since they are transferred from favorable nursery conditions to the adverse field environment (9, 51).

Soil water availability is the main environmental factor inducing transplant shock in arid zones; hence, selecting native species capable of surviving to extreme water scarcity is a key step in planning the revegetation.

The application of a drought-preconditioning treatment during the last months of nursery culture is a potential technique for reducing transplant shock (9, 51). This treatment has four main objectives: to manipulate seedling morphology and to induce dormancy, to acclimate seedlings to the natural environment, to develop stress resistance, and to improve seedling survival and growth after outplanting (24).

Nursery techniques to avoid transplant shock focus on manipulating the watering regime so as to favor the acclimation of seedlings to unfavorable field conditions. The intensity, duration and time for optimal irrigation should be adjusted to the plant species and the seedling characteristics, particularly their stress resistance (51). During the application of the drought period it is important to avoid intense drought conditions that can damage the seedlings irreversibly (*i.e.*, loss of xylem conductivity due to cavitation processes).

In general, mild water stress is known to reduce growth to a higher extent than carbon fixation, resulting in an accumulation of carbohydrates and nutrients (9, 32).

In order to analyze the responses of seedlings to the preconditioning treatments, many studies evaluate different physiological (photosynthetic rates, stomatal conductance, chlorophyll concentration, water relations) and morphological changes (size of the plant, some part of them or the proportion between them through some quality indices) on seedlings (9, 51, 56).

Also some quality indices may help to analyze these responses, such as the sturdiness quotient (SQ), which is calculated by length: diameter stem ratio and shoot: root dry weight ratio (S:R). Lower values of these indices indicate higher survival ability. One of the most commonly used indices is Dickson quality index (DQI) (14), which is determined by the equation: $\text{total dry weight}/(\text{SQ}+\text{S:R})$. In this case, higher values indicate greater survival ability of plants under field conditions. No information is available about the application of these treatments on shrub species from the Monte Desert.

This study aims to analyze the suitability of drought preconditioning treatments in the nursery as a practice to improve the drought resistance of two native shrub species of the Monte Desert -*Capparis atamisquea* and *Larrea cuneifolia*-. The specific objective is to evaluate morpho-physiological changes on the seedlings delivered by each treatment. Specifically, it is postulate that hardening treatments exert some morpho-physiological changes on *C. atamisquea* and *L. cuneifolia*, improving their sapling quality, such as lower leaf conductance, DQI, S/R ratio, and higher survival.

MATERIAL AND METHODS

Species and seed collection

C. atamisquea Kuntze (Capparaceae) is a 2-3 m high forage shrub with small leathery leaves, densely pubescent on their abaxial face (42). It has a facultative phreatophytic behavior (23), and its seedlings tend to establish in closed, canopied microsites, with less incident light and better moisture and nutrient conditions (8, 37, 44) than open areas. *L. cuneifolia* Cav. (Zygophyllaceae) is a microphyllous shrub with resinous cuticles and small stomata showing high resistance and closure at midday during dry seasons (2, 29). It can tolerate very hot environments by physically evading the midday sun and intercepting early morning and late afternoon light with its erect, east-facing leaves and branches. It colonizes the hottest and driest parts of the Monte Desert (17).

Seeds of *C. atamisquea* were collected from the Telteca Natural Reserve, NE Mendoza (32°14'56" S; 67°49'05" W) and *L. cuneifolia* from a natural shrubland located in Agrelo, SW Mendoza (33°07'01" S; 68°52'46" W). They were stored in paper bags and kept at room temperature until experiments were performed. To obtain the seeds, fruits of both species were rubbed between two rubber sheets, and only well-formed seeds were used in the assays. Seeds of *L. cuneifolia* were washed with running water for 48 h in order to break dormancy (18). Prior to sowing, both types of seeds were disinfected with a 15% solution of commercial hypochlorite (60 g Cl^o/l) for 7 minutes and then repeatedly washed with sterile water.

Experimental set-up

The assay was performed in the glass-house of IADIZA (Instituto Argentino de Investigaciones en las Zonas Áridas) (32°53' S; 68°57' W), Mendoza, Argentina, from January to April (summertime) 2012 for *L. cuneifolia* and 2013 for *C. atamisquea*, both over a period of 106 days.

Seeds were sown in a terrine and then transplanted to plastic pots 25 cm in diameter and 10 liters of capacity filled with air-dried sandy loam soil (7 kg for *C. atamisquea* and 7.5 kg for *L. cuneifolia*). Field capacity (FC) of the soil was 20.3% for *C. atamisquea* and 20% for *L. cuneifolia*.

Pots were watered as necessary until the start of the experiment. Maximum and minimum mean daily temperatures during 2012 ranged between 36.5° and 19°C, and during 2013 between 35.4° and 19.9°C; relative humidity ranged between 18.7% and 52% during 2012 and between 20% and 54% during 2013, and mean PAR at midday was 1100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ on both years. A foam pad was placed around all pots to avoid overheating from the sun. The experiment was started with plants 1 year old.

Water treatments

The assay was set up in a completely randomized experimental design with one-factor of water supply with three levels: T1 (control) was watered when soil water content decreased by 50% from the FC (*C. atamisquea* being watered 16 times, and *L. cuneifolia* 14 times), T2 (moderate water stress) when it decreased by 70% (*C. atamisquea* and *L. cuneifolia* being watered 8 and 7 times respectively), and T3 (severe water stress) when it decreased by 85% (both species being watered 3 times).

The amount of water to be replenished to FC at each irrigation date was determined from the gross weight of pots. We used 200 plants of each species distributed among the three treatments.

Leaf water status

Water potential (Ψ , MPa) was measured on the main shoot immediately after being excised at predawn (pd), 4:00 to 5:00 h, and midday (md), 12:30 to 13:30 h, before re-watering. Measurements were made using a pressure chamber (Biocontrol, Buenos Aires, Argentina), based on Scholander *et al.* (1965). For these measurements, ten plants per treatment were randomly selected on a monthly basis.

Stomatal conductance to water vapor

It was adaxial and abaxial stomatal conductance (G , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) to water vapor with a steady-state diffusion porometer (SC-1, Decagon Devices, Pullman, WA, USA). Since conductance did not differ significantly between both leaf faces in *L. cuneifolia*, the measurement was made only on the abaxial face (in accordance with Barbour *et al.* (1974), who found equal stomatal density on both leaf faces for this species. Midday G was measured on the same 10 plants as used for water status determination. In all cases are measured four expanded leaves per plant from different positions.

Growth

Ten plants per treatment were randomly selected to determine sapling height and stem basal diameter every 20-30 days.

On each sampling date, after measuring ψ and G , we separately determined leaf, stem and root dry matter after oven-drying them at 60°C for 72 h.

Leaf area (LA) was determined according to a linear regression equation derived from the relationship between the dry weight of a sample of leaves and their surface area measured on a digitalized image of the leaves generated by a scanner (hp psc 1210), and then treated with an image analyzer (IMAGEJ- National Institute of Health- USA). We used 30 replicates of five leaves to adjust the regression equation. The linear regression model was highly significant for both species ($p \leq 0.001$; $r^2=0.99$ for *C. atamisquea* and $r^2=0.97$ for *L. cuneifolia*).

Indices and survival

Using data from growth parameters, we calculated quality indices such as sturdiness quotient (SQ) determined by the ratio of the length and diameter of the stem; the shoot-to-root ratio by the dry weight of shoot and root (S:R); the Dickson quality index (DQI) determined by the ratio of total dry weight (TDW) with the sum of SQ and S:R, according to equation of Dickson *et al.* (1960): $\text{DQI} = [\text{TDW} / (\text{SQ} + \text{S:R})]$, and the Relative Growth Rate, $\text{RGR} = (\text{Ln}(\text{TDW}_t) - \text{Ln}(\text{TDW}_0)) / \text{time}$ (Porter & Garnier, 2007---Functional plant ecology). Also, in order to compare the effect of water stress on seedlings, we calculated the "proportional growth" as the ratio between the mean biomass reached in each water stress treatment and that of the control treatment (31).

Sapling survival was recorded at the end of the assay, in four replicates of ten saplings, per treatment and specie.

Statistical Analysis

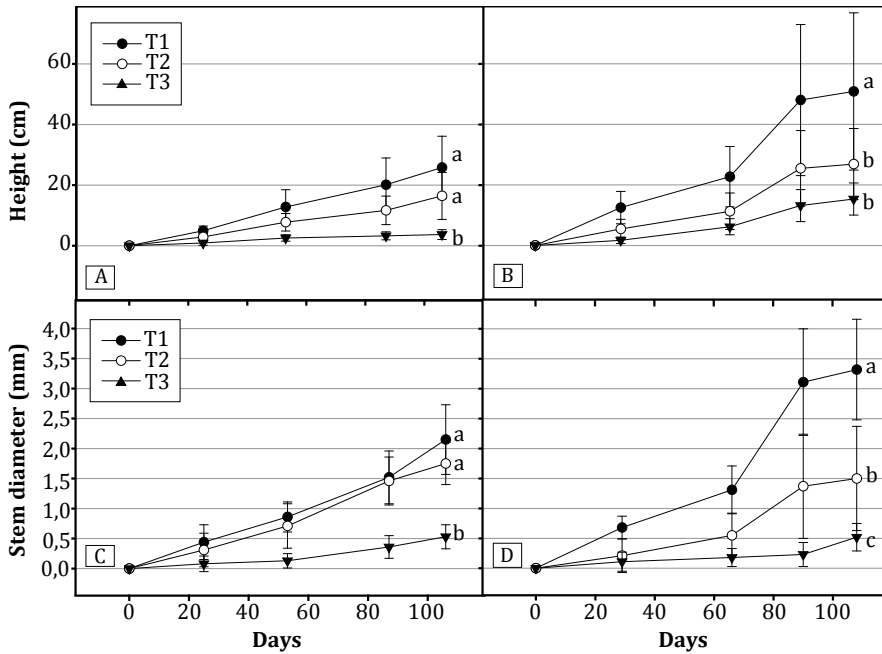
Growth, water potential and stomatal conductance data were subjected to a one-way analysis of variance (ANOVA).

Tukey's test was used for comparison of means. Variation in G as a function of Ψ md or soil water content was evaluated with linear regression. Infostat/L (16) was used for statistical analysis.

Because the data on sapling height, dry weight and G did not meet the ANOVA assumption of variance homogeneity, an $\ln(x+1)$ transformation was applied to data on sapling height and dry weight, and a \log_{10} transformation on G.

RESULTS

The severe water stress treatment (T3) significantly reduced both growth parameters in *C. atamisquea* (height: $F= 38.89, P <0.0001$, diameter: $F= 59.48, P <0.0001$), while in *L. cuneifolia* T2 and T3 reduced height and stem diameter (height: $F= 11.25, P =0.0003$, diameter: $F= 39.68, P <0.0001$). Under the highest water stress conditions, sapling height in *C. atamisquea* and *L. cuneifolia* was respectively 25.3% and 35.7% lower than in T1, while stem basal diameter was respectively 27% and 30.1% lower than in T1 (figure 1).



Different letters among treatments indicate significant differences at $p < 0.05$.

Letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas a nivel $p < 0,05$.

Figure 1. Growth curves of average sapling height and stem basal diameter for *C. atamisquea* (A – C) and *L. cuneifolia* (B – D) saplings imposed by different irrigation levels.

Figura 1. Curvas de crecimiento en altura y diámetro basal de tallo promedio de plantines de *C. atamisquea* (A – C) y *L. cuneifolia* (B – D) bajo diferentes niveles de riego.

Plants of both species (table 1), under water stress, showed a concomitant decrease in dry weight of leaves, stems and roots, and leaf area, although the difference between T2 and T1 was not significant for roots in *L. cuneifolia*. In T2 and T3, total dry weight decreased by 30% and 48% in *L. cuneifolia*, and by 26% and 54% in *C. atamisquea* in relation to their respective controls (T1).

No significant difference was found between SQ and RGR determinations. Measurements of RGR on saplings under T3 were not included in the analysis because almost all the values were 0.

The DQI was higher in saplings under T1 in both species, and the Proportional Growth showed similar values on both species and was lower in T3 (no statistical analysis was done). All saplings under T1 and T2 survived. Under severe water stress conditions (T3), some saplings died, but the percentage of survival was rather high in both species (table 1).

Shoot-to-root ratio decreased in both species under T3 (table 1).

C. atamisquea saplings under T3 allocated a lower proportion of dry weight to leaves ($F= 7.84, P= 0.0021$), with a correspondingly increased allocation to roots ($F= 17.42, P<0.0001$) (figure 2, page 40).

Table 1. Effects of the three levels of water supply (T1, T2 and T3) on: shoot-to-root ratio, sturdiness quotient (SQ), Dickson quality index (DQI), Relative Growth Rate (RGR), Proportional growth, leaf area and survival of *C. atamisquea* and *L. cuneifolia* saplings at the end of the assay (S.E. between parentheses).

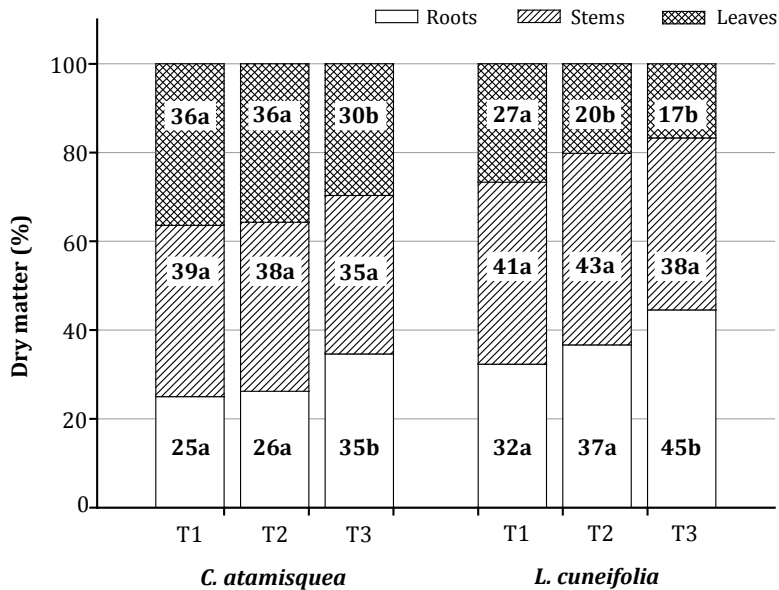
Tabla 1. Efectos de los tres niveles de irrigación (T1, T2 y T3) en: relación vástago/raíz, cociente de robustez (SQ), Índice de Calidad de Dickson (SQI), Tasa de Crecimiento Relativo (RGR), Crecimiento proporcional, área foliar y supervivencia de plantines de *C. atamisquea* y *L. cuneifolia* al finalizar el ensayo (E.E. entre paréntesis).

	<i>C. atamisquea</i>			
	T1	T2	T3	P value
Shoot/root ratio	3.04 a (0.44)	2.9 a (0.49)	1.9 b (0.45)	<0.0001
SQ	11.77 (1.75)	11.99 (2.64)	12.14 (2.81)	0.943
DQI	1.69 a (0.04)	1.29 b (0.05)	0.83 c (0.02)	<0.0001
RGR (mg/g día)	8	5	---	0.0557
Proportional Growth		0.46	0.74	----
Leaf area (mm ²)	448.5 a (93.55)	325.3 b (45.4)	169.5 c (35.67)	<0.0001
Survival (%)	100 a	100 a	89 b	<0.0001

	<i>L. cuneifolia</i>			
	T1	T2	T3	P value
Shoot/root ratio	2.1 a (0.37)	1.8 a (0.38)	1.3 b (0.29)	<0.0001
SQ	9.61 (2.73)	9.81 (2.37)	9.23 (2.13)	0.863
DQI	2.38 a (0.09)	1.73 ab (0.07)	1.34 b (0.03)	0.0026
RGR (mg/g día)	6	7	----	0.35
Proportional Growth		0.53	0.73	----
Leaf area (mm ²)	592.2 a (104.23)	326.3 b (96.94)	200.3 c (71.3)	<0.0001
Survival (%)	100 a	100 a	92 b	<0.0001

Different letters among treatments for each species indicate significant differences at $p<0.05$.

Letras distintas entre tratamientos para cada especie indican diferencias significativas a nivel $p<0,05$.



Different letters among treatments for each species and each biomass portion indicate significant differences at $p < 0.05$.

Letras distintas entre tratamientos para cada especie y cada región morfológica indican diferencias significativas a nivel $p < 0.05$.

Figure 2. Percentage of dry biomass allocated to leaves, stems, and roots at the end of the assay by *C. atamisquea* and *L. cuneifolia* saplings growing under three different irrigation levels: T1, T2, and T3.

Figura 2. Porcentaje de materia seca asignado a hojas, tallos, y raíces al finalizar el ensayo en plantines de *C. atamisquea* y *L. cuneifolia* creciendo bajo tres niveles de irrigación: T1, T2 y T3.

In *L. cuneifolia*, under both water stress conditions, dry matter allocation was lower to leaves ($F = 15.11$, $P < 0.0001$) and higher to roots ($F = 15.01$, $P < 0.0001$). No significant difference was found between stems of both species in any of the three treatments (*C. atamisquea* $P = 0.2971$, *L. cuneifolia* $P = 0.2583$).

As it was expected, under high stress conditions (T3), both species maintained

highly negative water potentials, which were measured until -9 MPa for safety reasons. Because of this, they were not included in the statistical analysis in table 2 (page 41). These extreme values apparently did not cause any injury in the plants. Water potential at predawn and midday measured at the three harvest dates were significantly lower in T2 for both species (table 2, page 41).

Table 2. Water potential at predawn (Ψ_{pd}) and midday (Ψ_{md}) and leaf conductance (G)^a in *C. atamisquea* and *L. cuneifolia* saplings measured in T1 and T2.**Tabla 2.** Potencial hídrico al pre-amanecer (Ψ_{pd}) y a mediodía (Ψ_{md}), y conductancia estomática (G)^a en plantines de *C. atamisquea* y *L. cuneifolia* medidos en T1 y T2.

	<i>C. atamisquea</i>			<i>L. cuneifolia</i>		
	T1	T2	P value	T1	T2	P value
-January						
Ψ_{pd} (MPa)	-2.6 a (0.23)	-4.2 b (0.54)	<0.0001	-2.2 a (0.35)	-3.7 b (0.68)	<0.0001
Ψ_{md} (MPa)	-4.8 a (0.33)	-6.3 b (0.22)	<0.0001	-3.5 a (0.59)	-4.9 b (0.75)	0.0003
G (mmol/m ² s)	46.2 a (16.56)	12.8 b (5.42)	<0.0001	33.3 a (15.5)	11.6 b (5.9)	0.0006
-February						
Ψ_{pd} (MPa)	-3 a (0.38)	-5.6 b (0.34)	<0.0001	-2.7 a (0.3)	-4.8 b (0.49)	<0.0001
Ψ_{md} (MPa)	-5.8 a (0.48)	-6.5 b (0.31)	0.0007	-3.5 a (0.29)	-5.8 b (0.47)	<0.0001
G (mmol/m ² s)	44.4 a (20.1)	11.2 b (4.2)	<0.0001	21.8 a (9.47)	11.1 b (4.39)	0.0047
-March						
Ψ_{pd} (MPa)	-3.2 a (0.25)	-4.2 b (0.55)	<0.0001	2.8 a (0.39)	-4.7 b (0.68)	<0.0001
Ψ_{md} (MPa)	-5.2 a (0.5)	-6 b (0.5)	0.0025	3.6 a (0.37)	-5.6 b (0.81)	<0.0001
G (mmol/m ² s)	72.43 a (16.7)	26.5 b (9.69)	<0.0001	38.9 a (15.75)	17 b (5.1)	0.0001

Different letters between treatments for each species indicate significant differences at $p < 0.05$ (S. E. between parentheses).

Letras distintas entre tratamientos para cada especie indican diferencias significativas a nivel $p < 0,05$. (E. E. entre paréntesis).

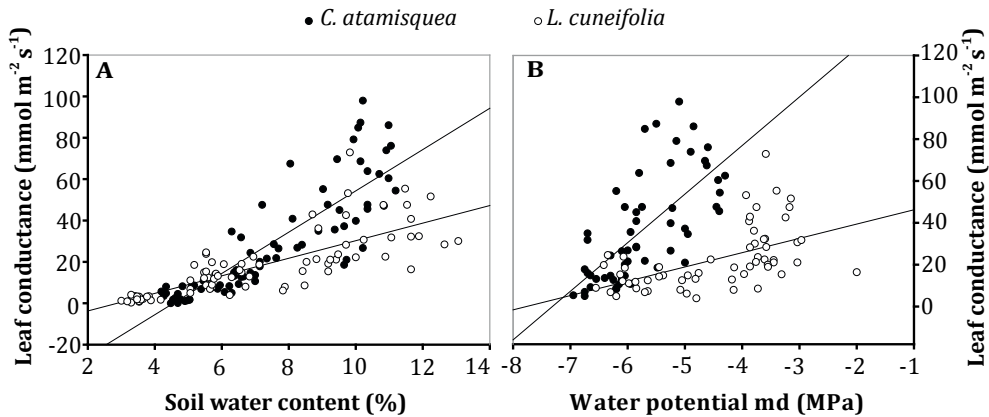
^a Values of G are from the abaxial leaf face of both species.

^a Los valores de G son de la cara abaxial en ambas especies.

Likewise, measurements of G on saplings under T3 were not included in the analysis because almost all the values were 0 mmol/m²s. Both species showed higher G in T1 throughout the three harvest times. In the case of *C. atamisquea*, G values measured in March were higher than those for January and February. Since this specie has sunken stomata in the adaxial leaf face, which were observed with the leaf surface imprint method (data not shown), values of G were low

in the three treatments at the three measurement dates (T1=7.23; T2= 2.27; and T3= 0 mmol/m²s).

Midday G varied significantly and positively with Soil Water Content and Ψ_{md} on both species, although this correlation was higher between G and soil water content (*C. atamisquea* $r^2 = 0.71$, $P < 0.0001$; *L. cuneifolia* $r^2 = 0.67$, $P < 0.0001$, figure 3A, page 42, and *C. atamisquea* $r^2 = 0.51$, $P < 0.0001$; *L. cuneifolia* $r^2 = 0.33$, $P < 0.0001$, figure 3B, page 42).



Symbols represent single measurements; straight line is the trend of the linear regression.

Los símbolos representan medidas únicas; la línea recta es la tendencia de la regresión lineal.

Figure 3. (A) Leaf conductance versus Soil water content, and (B) Leaf conductance versus Midday leaf water potential.

Figura 3. (A) Conductancia estomática versus Contenido hídrico del suelo, y (B) Conductancia estomática versus Potencial hídrico a mediodía.

DISCUSSION

Nearly all morphological characters varied significantly between seedlings under control and both hardening treatments, on both species. Only height and stem diameter did not differ between control and T2 on *C. atamisquea*.

The RGR of both species was low in all treatments, as expected for shrub species from arid environments (40). This rate did not decrease significantly under the moderate water stress treatment, and the proportional growth, also showed that seedlings under T2 were less affected than under T3. Usually, restoration practitioners tend to look for small seedlings because they spend less water than seedling with big canopies, and they have a better water economy (56).

However, many studies show that seedling with a big aerial part tend to have

greater survival and growth faster after transplanting to the field (10, 55).

The sturdiness quotient did not differ between treatments on both species, but *L. cuneifolia* seedlings showed lower values. A low SQ value in adverse areas is recommended since this index is associated with more robust plants and therefore potentially more resistant to stress caused by planting (35).

Control saplings of both species showed higher DQI, suggesting greater survival ability under field conditions, although it was expected that preconditioned seedlings have a greater DQI. Probably, this is due to the lack of significant variation in SQ, and therefore DQI values were more influenced by the total dry weight. These indices have been used more extensively in forest species

(3, 12, 27), so it is important to make some variation in these ones or test other indices more suitable for species from desert areas.

The decreasing shoot-to-root ratio calculated under T3 may actually be induced by water stress, which can affect leaf expansion and reduce carbon and energy uptake. Therefore, a greater proportion of the plant's assimilates can be distributed to the root system, where they can support further root growth while maintaining a better water status (49). The shoot-to-root ratios of these species are in line with those reported by other authors for shrubs of the Monte region (39, 52, 53). This morphological attribute is important for restoration practitioners, because it has been positively correlated with sapling survival in some species from Mediterranean shrublands (25). None of the two species, under the mild water stress treatment showed a significantly reduction in the shoot-to-root ratio.

Both shrubs showed low stomatal conductance under all three treatments. Hence, these saplings have a small area of stomatal opening whereby they minimize water loss to adjust to a limited water supply. We found out that, *C. atamisquea* and *L. cuneifolia* saplings under moderate water stress treatment maintained their stomata open at midday while leaf water potential was -6.5 and -5.8 MPa respectively. G was affected under both preconditioning treatments. It was reduced in 70% and 56% under T2, on *C. atamisquea* and *L. cuneifolia* respectively, while total stomatal closure occurs under the severe water stress treatment. These responses might help drought-conditioned seedlings to expend less water and maintain better water status when transplanted to the field (9, 57). This was also seen in the positive corre-

lation between G and soil water content on both species. *C. atamisquea* seedlings were more sensitive to the decrease of soil water content than *L. cuneifolia*, but they maintain their stomata open at lower water potential. The acclimation of preconditioned seedlings to drought in terms of stomatal conductance has been widely described in the literature and has been considered an important regulatory mechanism to enhance better performance of seedlings (51).

Studies of the effects of soil moisture on plant growth indicate a strong relationship between water potential and growth (49). Thus, water potential appears to be one of the most suitable indices of water stress, and in many species, such as in *L. tridentata*, it is the most important factor controlling phenological events, photosynthesis and productivity (34).

Our data show that *C. atamisquea* and *L. cuneifolia* did not stop growing at a predawn plant water potential of - 4.2 to -5.6 MPa, which corresponds to a soil moisture content of 6%. Barbour *et al.* (1974) found similar water potential values in 6-8 month old *L. cuneifolia* saplings. Other shrubs like *A. lampa* continue to grow at -5.7 to -6.9 MPa -soil moisture content of 5%- with a 30% reduction in biomass (Passera, unpublished results), and *L. tridentata* maintained stomatal opening and net photosynthesis down to - 6 MPa (33, 34, 48). It must be noted that crop plants like alfalfa (*Medicago sativa* L.) ceases to grow when plant water potential declines to less than -1.5 MPa (22).

Under severe water stress conditions (3% of soil water content) a high percentage of saplings (89-92%) of both species survived. Although environmental conditions in the field are usually harder than in nursery, these results show a great species capability to cope with water

stress. Irrigation of saplings under T3 was done approximately every 30 days, with low sapling mortality and very low water potentials (lower than -9 MPa), and under T2 irrigation was done every 8-10 days with no sapling mortality. It is important to notice that most of saplings under the severe water stress treatment died during the first drought cycle, suggesting the importance of the preconditioning treatments before transplanting to the field.

CONCLUSION

Moderate water stress treatment seems more suitable for preconditioning these species since it reduces growth, leaf area and leaf conductance without

seedling mortality and maintaining a good growth rate. In fact, several studies have observed that mild or moderate drought levels perform better than very intense drought conditions (54, 57). These results could be a consequence of surpassing certain limits of stress resistance during the process of desiccation (51).

However, it is necessary in future studies to evaluate seedlings response after transplanting to the field, in order to compare and analyze the suitability of these treatments.

The water stress treatments (T2 and T3) applied in this study, are a starting point to propose some preconditioning treatments for other native shrubs species from the Monte Desert.

REFERENCES

1. Anderson, D. C.; Ostler, W. K. 2002. Revegetation of degraded lands at US Department of Energy and US Department of Defense installations: strategies and successes. *Arid Land Research and Management*. 16(3): 197-212.
2. Barbour, M. G.; Diaz, D. V.; Breidenbach, R. W. 1974. Contributions to the biology of *Larrea* species. *Ecology*. 55(6): 1199-1215.
3. Binotto, A. F.; Lúcio, A. D. C.; Lopes, S. J. 2010. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne*. 16(4): 457-464.
4. Bisigato, A. J.; Bertiller, M. B. 1999. Seedling emergence and survival in contrasting soil microsites in Patagonian Monte shrubland. *Journal of Vegetation Science*. 10(3): 335-342.
5. Bonvissuto, G. L.; Busso, C. A. 2013. Establecimiento de plántulas en microambientes del Monte Austral Neuquino. En: *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina*. Vázquez Mazzini, Buenos Aires. 96-111.
6. Cabrera, A. L.; Willink, A. 1973. *Biogeografía de América latina*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Departamento de Asuntos Científicos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
7. Callaway, R. M.; Pugnaire, F. I. 1999. Facilitation in plant communities. In: Pugnaire, F. I.; Valladares, F. (Eds). *Functional plant ecology*. Marcel Dekker, New York. 623-648.
8. Cesca, E. M.; Villagra, P. E.; Passera, C.; Alvarez, J. A. 2012. Effect of *Prosopis flexuosa* on understory species and its importance to pastoral management in woodlands of the Central Monte Desert. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 44(2): 207-219.
9. Chirino, E.; Vilagrosa, A.; Cortina, J.; Valdecantos, A.; Fuentes, D.; Trubat, R.; Luis, V. C.; Puértolas, J.; Bautista, S.; Baeza, M. J.; Vallejo, V. R. 2009. Ecological restoration in degraded drylands: the need to improve the seedling quality and site conditions in the field. In: Steven P. Grossberg (Ed.). *Forest Management*. Nova Science Publishers Inc., New York. USA. 85-158.

10. Cortina, J.; Valdecantos, A.; Seva, J. P.; Vilagrosa, A.; Bellot, J.; Vallejo, V. R. 1997. Relación tamaño-supervivencia en plantaciones de especies arbustivas y arbóreas mediterráneas en vivero. In *Congresos-CARGA FINAL*.
11. Cortina, J.; Amat, B.; Castillo, V.; Fuentes, D.; Maestre, F. T.; Padilla, F. M.; Rojo, L. 2011. The restoration of vegetation cover in the semi-arid Iberian southeast. *Journal of Arid Environments*. 75: 1377-1384.
12. Cuzzuol, G. R. F.; Milanez, C. R. D.; Gomes, J. M. L.; Labate, C. A.; Canal, E. C. 2013. Relationship between N, P, and K and the quality and stem structural characteristics of *Caesalpinia echinata* Lam. plants. *Trees*. 27(5): 1477-1484.
13. Dalmaso, A. D. 2010. Revegetación de áreas degradadas con especies nativas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 45: 149-171.
14. del Valle, H. F.; Elissalde, N. O.; Gagliardini, D. A.; Milovich, J. 1998. Status of desertification in the Patagonian region: assessment and mapping from satellite imagery. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 12: 95-122.
15. Dickson, A.; Leaf, A. L.; Hosner, J. F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chron*. 36:10-13.
16. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available in: <http://www.infostat.com.ar> (Accessed: October 2013).
17. Ezcurra, E.; Montaña, C.; Arizaga, S. 1991. Architecture, light interception, and distribution of Larrea species in the Monte Desert, Argentina. *Ecology*. 23-34.
18. Fernández, M. E. 2009. Incremento de la germinación en *L. nitida* y *L. cuneifolia*. Respuestas según origen, tiempo de almacenaje y acción de agentes físicos sobre las semillas. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza. Argentina. p. 55.
19. Fuentes, D.; Valdecantos, A.; Llovet, J.; Cortina, J.; Vallejo, V. R. 2010. Fine-tuning of sewage sludge application to promote the establishment of *Pinus halepensis* seedlings. *Ecological Engineering*. 36: 1213-1221.
20. García-Fayos, P.; Verdú, M. 1998. Soil seed bank, factors controlling germination and establishment of a Mediterranean shrub: *Pistacia lentiscus* L. *Acta Oecológica*. 19: 357-366.
21. Grünwaldt, J. M.; Guevara, J. C.; Grünwaldt, E. G.; Martínez Carretero, E. 2015. Cacti (*Opuntia* spp.) as forage in Argentina dry lands. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 263-282.
22. Hall, M. H.; Sheaffer, C. C.; Heichel, G. H. 1988. Partitioning and mobilization of photo assimilate in Alfalfa subjected to water deficits. *Crop Science*. 28(6): 964-969.
23. Jobbágy, E. G.; Noretto, M. D.; Villagra, P. E.; Jackson, R. B. 2011. Water subsidies from mountains to deserts: their role in sustaining groundwater-fed oases in a sandy landscape. *Ecological Applications*. 21(3): 678-694.
24. Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E.; Barnett, J. P. 1989. The container tree nursery manual. Vol. 4. Seedling nutrition and irrigation. *Agricultural Handbook 674*. USDA Forest Service, Washington, D.C.
25. Lloret, F.; Casanovas, C.; Peñuelas, J. 1999. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root: shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Functional Ecology*. 13: 210-216.
26. Maestre, F. T.; Cortina, J.; Bautista, S.; Bellot, J.; Vallejo, R. 2003. Small-scale environmental heterogeneity and spatiotemporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem. *Ecosystems*. 6: 630-643.
27. Mañas, P.; Castro, E.; de las Heras, J. 2009. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New forests*. 37(3): 295-311.
28. Mendez, E. 2009. Variación estructural y hábitat de poblaciones de *Gymnocalycium schickendantzii* (Cactaceae) en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 41(2): 1-11.
29. Morello, J. 1955. Estudios botánicos en las regiones áridas de la Argentina. I. Ambiente, morfología y anatomía de cuatro arbustos resinosos de follaje permanente del Monte. *Revista agronómica Noroeste Argentina*. 3: 301-70.

30. Morello, J. 1958. La provincia fitogeográfica del Monte. Opera Lilloana II. Tucumán. Argentina. 153 p.
31. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*. 25: 239-250.
32. Nilsen, E. T.; Orcutt, D. M. 1996. Physiology of plants under stress. Abiotic factors. Physiology of plants under stress. Abiotic factors. John Wiley & Sons, New York.
33. Odening, W. R.; Strain, B. R.; Oechel, W. C. 1974. The effect of decreasing water potential on net CO₂ exchange of intact desert shrubs. *Ecology*. 55(5): 1086-1095.
34. Oechel, W. C.; Strain, B. R.; Odening, W. R. 1972. Tissue water potential, photosynthesis, C-labeled photosynthate utilization, and growth in the desert shrub *Larrea divaricata* cav. *Ecological Monographs*. 42: 128-141.
35. Oliet, J. 2000. La calidad de la postura forestal en vivero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba. Universidad de Córdoba, Córdoba.
36. Padilla, F. M.; Pugnaire, F. I. 2006. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 4(4): 196-202.
37. Páez, S. A.; Marco, D. E. 2000. Seedling habitat structure in dry Chaco forest (Argentina). *Journal of Arid Environments*. 46(1): 57-68.
38. Palacios, G.; Navarro-Cerrillo, R.; Del Campo, A.; Toral, M. 2009. Site preparation, stock quality and planting date effect on early establishment of Holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings. *Ecological Engineering*. 35: 38-46.
39. Passera, C. B.; Allegretti, L. I. 1996. Relaciones hídricas, productividad y partición de asimilados en plántulas de *Atriplex lampa* sometidas a estrés hídrico. En: Resúmenes XXI Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Mendoza. 230-231.
40. Porter, H.; Garnier, E. 1999. Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. *Handbook of functional plant ecology*. 20: 81-120.
41. Pugnaire, F. I.; Haase, P.; Puigdefábregas, J. 1996. Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology*. 77: 1420-1426.
42. Roig, F. A. 1980. Flora de la reserva ecológica de Ñacuñán. Cuaderno técnico 3. Zeta Ed. Mendoza. Argentina. 176 p.
43. Roig, F. A.; González Loyarte, M. M.; Abraham, E. M.; Mendez, E.; Roig, V. G.; Martínez Carretero, E. 1991. Maps of desertification hazard of Central Western Argentina (Mendoza Province) study case. In: Middleton, N.; Thomas, D.S.G. (Eds.). *World Atlas of Thematic Indicators of Desertification*. UNEP, London.
44. Rossi, B. E.; Villagra, P. E. 2003. Effects of *Prosopis flexuosa* on soil properties and the spatial pattern of understory species in arid Argentina. *Journal of Vegetation Science*. 14(4): 543-550.
45. Rundel, P.; Villagra, P. E.; Dillon, M. O.; Roig-Juñent, S. A.; Debandi, G. 2007. Arid and semi-arid ecosystems. In: Veblen, T.T., Young, K., Orme, A. (Eds.). *The Physical Geography of South America*. Oxford University Press, Oxford. 158-183.
46. Scholander, P. F.; Hammel, H. T.; Bradstreet, D. E.; Hemmingsen, E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* NY. 148: 339-346.
47. Soriano, A.; Sala, O. E.; Perelman, S.B. 1994. Patch structure and dynamics in a Patagonian arid steppe. *Vegetatio*. 111: 127-135.
48. Strain, B. R. 1969. Seasonal adaptations in photosynthesis and respiration in four desert shrubs growing *in situ*. *Ecology*. 50: 511-513.
49. Taiz, L.; Zeiger, E. 2002. 3° ed. *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts, USA.
50. Vallejo, V. R. 2009. Problems and perspectives of dryland restoration. Land restoration to combat desertification. Innovative approaches, quality control and project evaluation, Fundación CEAM. Valencia. 13-22.
51. Vilagrosa, A.; Cortina, J.; Gil-Pelegrín, E.; Bellot, J. 2003. Suitability of drought-preconditioning techniques in Mediterranean climate. *Restoration Ecology*. 11(2): 208-216.
52. Vilela, A. E.; Rennella, M. J.; Ravetta, D. A. 2003. Responses of tree-type and shrub type *Prosopis* (Mimosaceae) taxa to water and nitrogen availabilities. *Journal of Arid Environments*. 46: 327-337.

53. Villagra, P. E.; Cavagnaro, J. B. 2006. Water stress effects on the seedling growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco*. *Journal of Arid Environments*. 64(3): 390-400.
54. Villar-Salvador, P.; Ocaña, L.; Peñuelas, J.; Carrasco, I. 1999. Effect of water stress conditioning on the water relations, root growth capacity, and the nitrogen and non-structural carbohydrate concentration of *Pinus halepensis* Mill. (Aleppo pine) seedlings. *Annals of Forest Science*. 56(6): 459-465.
55. Villar-Salvador, P.; Lerena, S.D.; Rubira, J. L.; Manzano, I. C.; Sierra, N. H.; Peragón, J. L.; Bueno, L. O. 2000. Plantas grandes y mejor nutridas de *Pinus pinea* tienen mejor desarrollo en campo. *Actas del 1er Simposio sobre el pino piñonero*. Valladolid. 1: 219-227.
56. Villar-Salvador P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. In Rey-Benayas J. M., T. Espigares-Pinilla, J. M. Nicolau-Ibarra eds. *Restauración de ecosistemas mediterráneos*. Alcalá de Henares, España. Universidad de Alcalá. p. 65-86.
57. Villar-Salvador, P.; Planelles, R.; Oliet, J.; Peñuelas-Rubira, J. L.; Jacobs, D.F.; González, M. 2004. Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery. *Tree Physiology*. 24(10): 1147-1155.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank H. Debandi, G. Zalazar, C. Moreno, F. Frattini and L. Palazzolo for field assistance. S. Trione, P. Villagra, C. Pissolito and N. Horak for their comments, suggestions and manuscript review. The study was partially supported by the Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica and by CONICET (Argentina).

Parametrización del modelo CROPGRO-soybean y su uso como herramienta para evaluar el impacto del cambio climático sobre el cultivo de soja

Parameterization of CROPGRO-soybean model and its use as a tool to assess the impact of climate change on the soybean crop

Adriana Confalone ¹, Carlos Vilatte ¹, Laura Lázaro ¹, Núria Roca ^{1,2}, Silvia Mestelan ¹, Laura Aguas ¹, Miguel Navarro ¹, Federico Sau ³

Originales: *Recepción:* 09/12/2014 - *Aceptación:* 23/02/2016

RESUMEN

Antes de su uso para la toma de decisiones, los modelos de cultivos deben ser calibrados con datos de campo de la región en la cual serán utilizados. Los objetivos del trabajo fueron calibrar y validar la capacidad predictiva del modelo CROPGRO-soybean. Se utilizaron datos de dos cultivares del grupo de madurez IV (Asgrow 4656 y Don Mario DM4700) y tres años de experimentos de campo en condiciones no limitantes en Azul, Buenos Aires, Argentina. La calibración comenzó con los coeficientes del grupo IV que por defecto se encuentran en los archivos: especie, ecotipo y cultivar. Modificaciones menores fueron hechas para ajustar la fenología y dinámica del crecimiento para ambos cultivares. Con el archivo especie original la materia seca, el aumento del número de vainas y el crecimiento de las mismas fue subestimado. La temperatura base cardinal para la fotosíntesis y formación de vainas se redujeron, con estas modificaciones se obtuvieron buenas predicciones para crecimiento y rendimiento. Con el CROPGRO-soybean calibrado y utilizando las proyecciones para la región del modelo climático regional PRECIS bajo el escenario SRESA2 en los años 2030 y 2060, se evaluaron los efectos del cambio climático global futuro en los rendimientos del cultivo de soja. Bajo esos escenarios y en condiciones de secano, se prevén aumentos del rendimiento de 34 y 38% para cada uno de los años estudiados, con una leve mejora atrasando la fecha de siembra respecto de la óptima actual.

Palabras clave

cambio climático • modelo de cultivo • rendimiento • soja

1 Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Av. República de Italia 780 (B7300). Azul, Buenos Aires, Argentina. aec@faa.unicen.edu.ar

2 Departamento de Biología Vegetal. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona, España.

3 Departamento de Biología Vegetal. ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

ABSTRACT

Prior to their use in decision-making, crop models need to be calibrated with field data from the region where the model will be used. The objectives of this research were calibrate and validate the predictive ability of CROPGRO-soybean model. Data from two cultivars maturity group IV (Asgrow 4656 and Don Mario DM4700) and three years of field experiments in conditions not limiting in Azul, Buenos Aires, Argentina were used. Calibration started with the coefficients of group IV that by default are in files: species, ecotype and cultivate. With the original species file, dry matter, increasing the number of pods and growth were underestimated. Minor changes in file were made to adjust phenology and growth dynamics for both cultivars. The cardinal base temperatures for photosynthesis and pod formation were reduced; with these modifications good predictions for growth and yield were obtained. With the CROPGRO-soybean calibrated and using projections for the region from PRECIS regional climate model under the SRESA2 scenario in the years 2030 and 2060, the effects of global climate change in future soybean crop yield were evaluated. Under these scenarios and rainfed conditions, are anticipated yield increases of 34 and 38% for each of the years studied with a slight improvement delaying the planting date, respect to current optimum date.

Keywords

climate change • crop model • yield • soybean

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y utilización de modelos de cultivo en agricultura ha aumentado con rapidez en los años recientes. Las aplicaciones de los modelos comprenden numerosas posibilidades, como la simulación del rendimiento de los cultivos y de distintos procesos a escala de planta y cultivo, así como la evaluación de alternativas culturales y de manejo, la planificación de la agricultura y el análisis del riesgo. Además, se han convertido en una metodología que permite examinar los efectos del cambio climático sobre la agricultura, ayudando en la evaluación biofísica del impacto del clima sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de cada cultivo (8, 24, 28, 31, 38, 43, 44, 47, 53).

Entre los modelos mecanicistas de leguminosas se destaca el modelo

CROPGRO (4). CROPGRO-soybean es un modelo específico de soja y su versión más reciente es la incluida en el paquete DSSAT V4.5 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer-Cropping system model) (18), el cual presenta mejoras útiles en cuestiones de evaluación de producción sustentable, respecto de versiones anteriores (41). Este modelo ha sido empleado bajo una amplia gama de condiciones ambientales (13, 17, 23, 35, 45, 46) y también ha sido aplicado a los impactos de las proyecciones de condiciones climáticas de diversas partes del mundo (10, 11, 26, 27, 29, 40, 50).

De la misma forma que se realiza con otros modelos menos mecanicistas, antes de utilizarlos para cualquiera de sus múltiples usos, es preciso realizar la

parametrización (calibración y validación) con datos experimentales obtenidos "in situ" (45, 46).

El cambio climático ya está afectando a los sistemas agrícolas en varias regiones del mundo. Los informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (21, 22) incluyen una lista de agroecosistemas con suficientes evidencias científicas de tal efecto.

En Argentina se han detectado cambios significativos en el clima desde finales del siglo XX, que han influido en la producción de los cultivos (12, 34), y han contribuido en el aumento de los rendimientos de secano (28). Este cambio en las condiciones climáticas, sumado a las condiciones económicas produjo modificaciones en el uso de la tierra, destacándose la expansión del cultivo de soja en Argentina, Brasil y Uruguay, en detrimento de otros cultivos.

En la Argentina en particular, el aumento de la superficie destinada a esta oleaginosa es muy grande y en las últimas 3 campañas (2012 a 2015), se sembraron alrededor de 20 millones de hectáreas de soja (48). El partido de Azul no ha estado ajeno a este proceso y en la actualidad presenta 200.000 ha ocupadas por cultivos anuales -prácticamente el 90% de la superficie cultivable del partido- de las cuales la soja ocupa algo más de 180.000 ha, con una producción en la campaña 2013/2014 de 331.982 t (48). Este incremento de la soja puede poner en riesgo la sustentabilidad de los suelos (32) y de los agroecosistemas en general (42).

El clima de Azul es templado húmedo con influencia oceánica, del tipo Cfb (25), característico de la región centro-este de la provincia de Buenos Aires. La temperatura media anual es de 13,9°C, siendo de 21,3°C la del mes más cálido y 7,4°C la del mes más frío. Desde el punto de vista climático,

analizando la serie 1931-2006, el incremento de la temperatura media anual del partido fue de 0,9°C, a una tasa de 0,012°C/año, y mostró un quiebre de tendencia en las anomalías térmicas entre 1967-1968 sin que la variabilidad anual se haya modificado, por lo que ese incremento no se debe a fluctuaciones propias en la variabilidad climática sino a un aumento sostenido en el balance de ondas largas (37).

La construcción de escenarios futuros por medio de modelos climáticos regionales como MM5, PRECIS y RegCM3 proyectan para la región centro y sudeste de la provincia de Buenos Aires un aumento de temperatura inferior a los 2°C hasta la década de 2050-2060 (2, 6, 30).

Si bien se han identificado los impactos potenciales del cambio climático sobre los sistemas agrícolas para varios cultivos en la región pampeana utilizando los modelos del paquete DSSAT (27, 28, 50), los resultados presentan una gran variabilidad espacial, sumado al hecho de que los modelos no fueron calibrados localmente.

En Azul, esos estudios son incipientes. Se están realizando trabajos preliminares que permiten analizar el impacto que el cambio climático pueda tener sobre los cultivos que se siembran en el partido, partiendo de calibraciones realizadas con datos locales (51).

Objetivos

Calibrar el modelo CROPGRO-soybean en las condiciones agroclimáticas de la zona central de Azul.

Hacer un ejercicio que permita determinar el impacto que el clima futuro pueda tener sobre el rendimiento del cultivo de soja, utilizando las proyecciones climáticas dadas por el modelo climático regional PRECIS para los años 2030 y 2060.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayos de campo

Se utilizaron datos de ensayos de tres años consecutivos (1999-2002) de cultivo de soja de grupo IV realizados en la Chacra Experimental de la Facultad de Agronomía-UNCPBA (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires (latitud: 36°45' S; longitud: 59°50' O, altitud: 132m). Los datos agrometeorológicos diarios (radiación solar, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa y viento) provienen de la estación del Centro Regional de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía (CRAGM) (9). Durante los ciclos agrícolas 1999-2000 y 2000-2001 se sembraron los cultivos Asgrow 4656 (de aquí en adelante, Asgrow) y Don Mario DM4700 (resistente a glifosato y que será nombrada como Don Mario de aquí en adelante).

El cultivo fue regado y creció en condiciones no limitantes desde el punto de vista nutricional e hídrico, en un suelo Argiudol típico (49), característico de esta región del partido (20, 32). Durante el ciclo de cultivo 2001-2002 se sembraron ambos cultivos en condiciones de secano.

En los tres años, la siembra de los dos cultivos de soja del grupo IV se realizó a mano durante la primera quincena de noviembre con una densidad de siembra de 30 plantas/m². Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con tres repeticiones, cada unidad experimental ocupaba una superficie de 45 m².

En el cultivo irrigado, el suelo se mantuvo próximo a la capacidad de campo, determinado con el método de Cassel y Nielsen (1986).

El contenido de humedad en el suelo fue monitoreado semanalmente según el método gravimétrico (15).

La lámina de agua aplicada diariamente como complemento de la precipitación en los cultivos irrigados, fue distribuida por medio de un sistema de riego por goteo y fue calculada mediante la metodología recomendada por la FAO (3).

Las distintas fases fenológicas del cultivo se determinaron siguiendo la clave de Fehr y Caviness (1977) con las modificaciones que opera el modelo CROPGRO (5), indicando la plenitud de cada fase cuando el 50% de las plantas marcadas para las observaciones alcanzaban dicho estado fenológico.

FL (R1), indica que las plantas tienen al menos una flor abierta en cualquier nudo de la planta; SH (R4), las plantas presentan una vaina totalmente expandida en cualquier nudo de la planta; SD (R6), se visualiza una vaina que contiene semillas verdes que llenan la cavidad de la vaina en cualquier nudo de la planta; PM (R7), se observa una vaina de color amarillento en cualquier nudo de la planta, indicando que se alcanza la madurez fisiológica. Todas estas son fases fenológicas importantes para el modelo CROPGRO ya que determinan cambios en la partición de asimilados y madurez del cultivo.

Cada 10-15 días fueron determinados el índice de área foliar (IAF) y el peso seco de 0,5 m² de cultivo que fue particionado en tallos, hojas, vainas, granos. Posteriormente a la cosecha, las plantas fueron llevadas a estufa a una temperatura de 65°C, hasta peso constante. El IAF se midió con un analizador de dosel (LAI 2000, LI-COR, inc). La cosecha final para determinar la producción de granos se realizó sobre las dos hileras centrales de cada parcela.

La calibración se realizó con los datos provenientes de los dos primeros años de cultivo regado y para la validación se usaron los datos del último año del experimento en condiciones de secano.

Para el análisis de impacto de clima futuro se utilizó el modelo calibrado con el cv. Don Mario. También se realizó un nuevo test del modelo previamente parametrizado, con datos provenientes de un ensayo en siembra directa; los detalles de este experimento pueden encontrarse en Ressa *et al.* (43).

Modelo de cultivo

Se utilizó el modelo CROPGRO-soybean (4) incluido en el paquete DSSAT V4.5 (18) que permite la unificación de los formatos de datos de entrada y salida con los modelos de diferentes cultivos.

Los datos requeridos son los relacionados con:

a) el clima (temperatura máxima y mínima, radiación global, precipitación) que conforman el archivo climático estándar (*.WTH), cargado con datos meteorológicos provenientes del CRAGM (9).

b) el suelo (propiedades físicas y químicas de cada horizonte del perfil) que conforman el archivo de suelo estándar (*.SOIL), cargado con perfiles de suelos reales (38).

c) el manejo (residuos, fechas de siembra, fertilización, riego) considerados en el archivo (*.X).

d) los coeficientes genéticos de los cultivares.

Cabe señalar que en estudios de cambio climático, el modelo debe trabajar con los valores previstos de concentración de CO₂, y no con los valores que usa por defecto.

El modelo CROPGRO está compuesto por cuatro módulos que interactúan: desarrollo, balance de carbono, balance de agua y balance de nitrógeno. Aunque el

modelo es de paso diario, algunos procesos como la fotosíntesis o la evolución fenológica utilizan un paso horario. Para ello, el modelo estima temperaturas horarias a partir de las temperaturas máximas y mínimas diarias.

Todas las variables de estado del modelo son calculadas diariamente y se visualizan en las salidas de las simulaciones (*.OUT). Además, el modelo simula los componentes del rendimiento, cuantificando y graficando el crecimiento diario del cultivo hasta el estadio de madurez fisiológica y de cosecha. La subrutina de desarrollo del cultivo utiliza diferentes ecuaciones así como diferentes valores de temperaturas base, óptima y máxima en función del subperíodo fenológico considerado. Esta subrutina genérica funciona para diferentes especies y cultivares. Las características genéticas de un cultivo están consideradas en los parámetros o coeficientes genéticos contenidos en tres archivos: especie (*.SPE), ecotipo (*.ECO) y cultivar (*.CUL). El lenguaje de programación del actual módulo y del modelo CROPGRO es Fortran y el paso de cálculo principal es el diario; la descripción de las tasas de cambio de materia seca, acumulación y remoción de proteínas y cambios en el número de vainas y semillas se realiza con ecuaciones diferenciales no lineales de primer orden (18).

Parametrización del modelo

La calibración es el proceso iterativo de búsqueda de los valores de los coeficientes genéticos que produzcan la menor discrepancia entre resultados simulados por el modelo y observados en el experimento, lo cual requiere la medición, estimación o ajuste de sus valores para mejorar la precisión predictiva del modelo con respecto de algunas variables.

El modelo calibrado debe ser posteriormente contrastado con datos independientes, para ser aceptados como válidos los nuevos valores de los coeficientes previamente calibrados (validación).

Para cuantificar la precisión en la parametrización se utilizó como indicador el RMSE, que es la raíz del cuadrado medio del error (Ecuación 1) y un índice de ajuste (d ; Ecuación 2) (52).

$$RMSE = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2 / (n - 1)\right)} \quad (1)$$

donde:

O_i y S_i = valores observados y simulados del i -ésimo par de datos

n = el número de observaciones

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S'_i| + |O'_i|)^2} \right], \text{ con } 0 \leq d \leq 1, \quad (2)$$

donde:

n = número de observaciones

\bar{O} = valor medio observado de la variable

O_i y S_i = valores observados y simulados del i -ésimo par de datos respectivamente

$$S'_i = S_i - \bar{O}$$

$$O'_i = O_i - \bar{O}$$

Modelo climático regional

Para el análisis del impacto de clima futuro sobre el rendimiento del cultivo de soja, se trabajó con los datos obtenidos del Atlas Ambiental de Buenos Aires (1), siguiendo la línea evolutiva SRES A2 (Special Report on Emissions Scenarios A2) (36) por ser una de las más severas.

Este escenario, desde una visión social, representa un mundo muy heterogéneo con una población mundial en crecimiento continuo y con una orientación regional de crecimiento económico, que está más fragmentado y más lento que en otras líneas evolutivas.

El escenario de emisiones de gases de efecto invernadero denominado A2 fue generado por el Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC) de Brasil, a partir de la información del modelo climático regional de alta resolución PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies) desarrollado por el Hadley Centre (Reino Unido) (1). Considera cambios en la concentración de CO_2 , en la temperatura media anual y precipitación anual acumulada para una región de Sudamérica que incluye la región centro de Buenos Aires.

Las proyecciones para esta región son: 614 ppm y 820 ppm de CO_2 , 1°C y 2°C de aumento de temperatura para los años 2030 y 2060, respectivamente. Con respecto a las precipitaciones, el modelo proyecta un aumento de 3% para el año 2060, manteniendo sin modificaciones las de 2030. Estos valores se utilizaron para modificar el archivo estacional del DSSAT, cargado con los datos diarios del período 1988-2014 de la estación del CRAGM (9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien los archivos de datos meteorológicos con los que trabaja el DSSAT tienen una marcha cronológica diaria, en la tabla 1 (pág. 55) se muestran datos mensuales de temperatura y precipitaciones durante el período del experimento.

Tabla 1. Promedio mensual de los elementos del clima: radiación global (RG), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN) y precipitación acumulada (PP) durante los años del experimento.

Table 1. Monthly average of global radiation (RG), maximum temperature (TMAX), minimum temperature (TMIN) and cumulative monthly precipitation (PP) during the years of the experiment.

	RG (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)	TMAX (°C)	TMIN (°C)	PP (mm.mes ⁻¹)
1999/2000				
Noviembre	25,7	24,4	10,3	26,0
Diciembre	25,4	27,4	12,7	113,8
Enero	27,4	30,7	15,1	112,3
Febrero	26,3	27,2	14,5	240,3
Marzo	21,1	24,2	11,4	84,5
Abril	13,3	20,7	8,8	53,7
2000/2001				
Noviembre	24,5	21,5	8,6	9,6
Diciembre	32,4	27,3	10,5	55,0
Enero	24,6	28,2	15,1	137,0
Febrero	27,9	30,3	14,9	209,9
Marzo	16,2	24,7	14,0	163,5
Abril	14,0	19,7	7,6	43,3
2001/2002				
Noviembre	26,4	21,8	10,5	223,7
Diciembre	24,9	25,8	12,8	76,8
Enero	26,4	28,6	14,8	108,3
Febrero	21,8	26,5	12,7	188,0
Marzo	16,2	24,7	14,0	284,0
Abril	13,5	18,1	7,1	70,5

El año agrícola 1999/2000 presentó los valores más altos de radiación y temperatura, mientras que en el último año (2001/2002) hubo mayor nivel de precipitaciones y se observaron los valores más bajos de radiación global y temperatura máxima de todo el experimento.

Para realizar la parametrización del modelo, en primer lugar, se calibraron los coeficientes genéticos relacionados con la fenología del cultivo y a continuación se calibraron los coeficientes de crecimiento.

Se partió de la simulación con los coeficientes genéticos genéricos (se pueden seleccionar por defecto para ejecutar el modelo) de un cultivar grupo de madurez IV de soja, los que a continuación se modificaron manualmente en el archivo que caracteriza los mismos (SBGRO045. CUL) hasta obtener el menor desvío entre los datos simulados y los observados en los años agrícolas 1999-2000 y 2000-2001 para cada cultivar de soja.

El archivo SBGRO045.SPE que caracteriza la especie fue modificado con los siguientes cambios que afectan la fotosíntesis: la temperatura base se disminuyó de 8°C a 6°C y también se modificaron los valores umbrales para la función que calcula el efecto de la temperatura mínima sobre la tasa fotosintética del próximo día a saturación de luz, cambiándolos de 0°C y 19°C a -2°C y 17°C. Esta necesidad de cambio en la temperatura base para la fotosíntesis (K. Boote, comunicación personal) fue realizada previamente por otros autores (45, 46) y demuestra la capacidad de adaptación del cultivo a condiciones de temperatura más bajas que las original-

mente incluidas en el modelo. Además, para lograr un mejor ajuste, se modificó la temperatura para la formación de vainas, pasando de 14 a 10°C. En este sentido, otros autores ya habían notado la necesidad de cambio de las temperaturas cardinales para esta fase fenológica (14, 19).

En la figura 1 se puede observar la evolución de la biomasa total y de vainas medidas y simuladas por el modelo CROPGRO-soybean durante el ciclo agrícola 1999-2000, para los dos cultivares utilizados en el experimento con los coeficientes originales (izquierda) y calibrados (derecha) luego de modificar los archivos cultivar y especie.

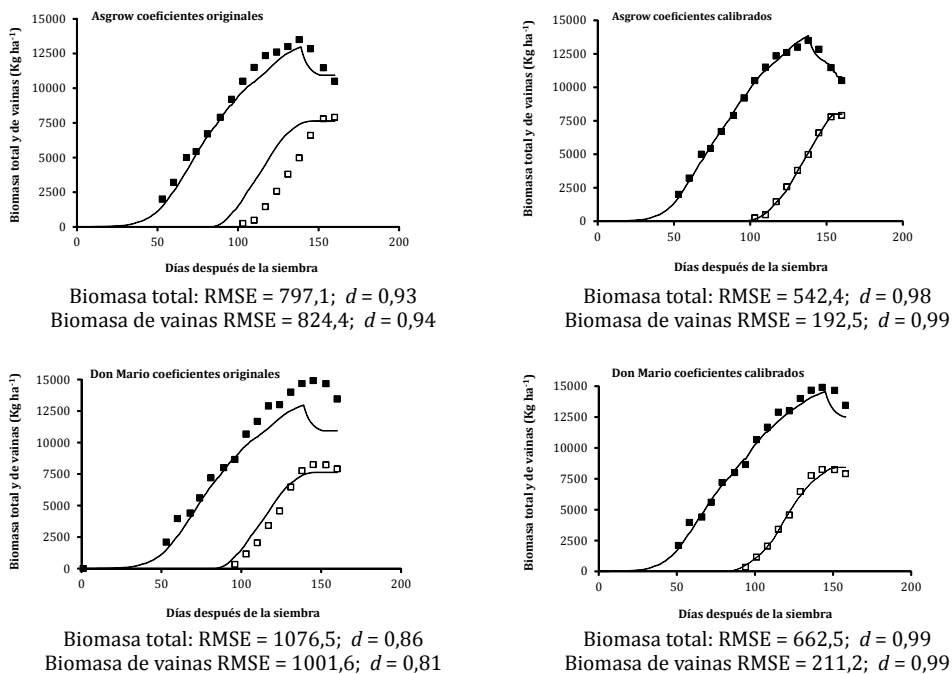


Figura 1. Evolución estacional de biomasa total y de vainas simulada (línea) y medida: total (■) y vainas (□) para el cv. Asgrow 4656 y para el cv. Don Mario DM4700 durante el ciclo agrícola 1999/2000 con los coeficientes originales (derecha) y modificados (izquierda).

Figure 1. Seasonal evolution of biomass (total and pods) simulated (line) and measured (symbols) total (■) and pods (□) for cv. Asgrow 4656 and for cv. Don Mario DM4700 during the 1999/2000 crop season with the original (right) and modified coefficients (left).

La calibración logró una visible mejora en la simulación, obteniéndose valores más bajos en el RMSE y un índice *d* cercano a 1, lo que confirma la bondad del ajuste y cuya mejora se puede observar en los estadísticos que se encuentran al pie de cada figura.

En la tabla 2 se pueden comparar los valores de rendimiento del año agrícola 2000-2001 simulados por el modelo utilizando los coeficientes originales para una soja del grupo 4, con los coeficientes modificados luego de la calibración.

La diferencia entre rendimiento simulado y observado con los coeficientes originales fue de 42,7% y 34,9% para Don Mario y Asgrow, respectivamente.

Luego del proceso de calibración, esta diferencia pasó a ser de 1,3% y 3,3% para ambos cultivares. El RMSE de la soja Don Mario disminuyó de 1107,8 a 99,6, mientras en Asgrow, pasó de 842,5 a 102,6 cuando se utilizaron los coeficientes originales y los calibrados, respectivamente.

En la validación con datos del último año de ensayo (tabla 3, pág. 58) se puede observar que las fechas de ocurrencia de las fases fenológicas de los dos culti-

vares de soja analizados presentan, como máximo, diferencias de 2 días entre los datos observados y simulados.

En algunos subperíodos fenológicos no se observan diferencias entre los datos simulados con los observados.

La diferencia porcentual en IAF máximo fue de 7,60% y 9,35%, mientras el rendimiento alcanzó diferencias de 1,1% y 4,9% para la soja Don Mario y Asgrow, respectivamente.

Debido a que los valores hallados de RMSE para los dos cultivares de soja fueron bajos, se aceptaron como válidos los coeficientes genéticos calibrados.

Además, a fin de contrastar los resultados del modelo calibrado con datos provenientes de otro lugar, se realizó un test con datos de rendimiento provenientes de un cultivo realizado bajo siembra directa (43), hallándose un error medio de estimación menor al 10%. Esta diferencia se consideró aceptable (33, 41) por lo que se utilizaron estos nuevos coeficientes obtenidos en el ejercicio del impacto de cambio climático sobre el rendimiento del cultivo.

Tabla 2. Rendimiento (Kg ha⁻¹) simulado (Sim.) y observado (Obs.). RMSE: raíz del cuadrado medio del error. Dif.: Diferencia = [(Sim.- Obs.)/Obs.] * 100 durante el ciclo agrícola 2000/2001, ejecutando el modelo con los coeficientes genéticos originales (soja grupo 4) y con los coeficientes modificados después de la calibración.

Table 2. Yield (Kg ha⁻¹) simulated (Sim.) and observed (Obs.). RMSE: root-mean-square error. Dif.: difference = [(Sim.- Obs.)/Obs.] * 100 during the 2000/2001 crop season, running the model with the original genetic coefficients (soybean group 4) and with the modified coefficients after calibration.

	Don Mario				Asgrow			
	Sim.	Obs.	RMSE	Dif.	Sim.	Obs.	RMSE	Dif.
Con coeficientes originales	2888	5040	1107,8	42,7	2888	4434	842,5	34,9
Con coeficientes calibrados	4977	5040	99,6	1,3	4286	4434	102,6	3,3

Tabla 3. Validación del modelo CROPGRO-soybean durante el ciclo agrícola 2001/02 con los coeficientes previamente calibrados. Datos en fecha juliana para estados fenológicos y en Kg ha⁻¹ para rendimiento. Sim.: datos simulados por el modelo. Obs.: datos observados en el experimento. RMSE: raíz del cuadrado medio del error. Dif.: Diferencia = (Sim.-Obs.) en días, para estadios fenológicos R1 a R7; Diferencia = [(Sim.- Obs.)/Obs.] * 100, para el resto de las variables.

Table 3. Validation of CROPGRO-soybean model during the season 2001/02 with the coefficients previously calibrated. Data in julian dates for phenological stages and Kg ha⁻¹ for yield. Sim.: data simulated by the model. Obs.: data observed in the experiment (Obs.). RMSE: root-mean-square error. Dif.: difference = (Sim.-Obs.) in days, for R1 to R7 phenological stages; difference = [(Sim.- Obs.)/Obs.] * 100, for the other variables.

	Don Mario				Asgrow			
	Sim.	Obs.	RMSE	Dif.	Sim.	Obs.	RMSE	Dif.
R1	11	12	1,123	-1	5	5	1,077	0
R4	36	36	0,453	0	25	24	1,985	1
R6	56	55	1,432	1	51	53	3,043	-2
R7	97	97	0,791	0	91	93	2,892	-2
rendimiento	4411	4363	97,866	1,1	3788	3611	190,334	4,9
IAF máx.	7,46	8,27	1,234	7,60	6,90	6,31	1,331	9,35

R1: día cuando el 50% de las plantas tienen al menos una flor abierta en cualquier nudo de la planta en cualquier tallo; R4: día cuando el 50% de las plantas tienen al menos una vaina totalmente expandida en cualquier tallo; R6: día cuando el 50% de las plantas muestran al menos una vaina conteniendo semillas verdes, que llenan la cavidad de la vaina en cualquier tallo; R7: día cuando el 50% de las plantas tienen al menos una vaina de color amarillento en cualquier tallo. Madurez fisiológica.

R1: day when 50% of plants have at least one flower at any node on the plant in any stem; R4: day when 50% of plants have at least one fully expanded pod in any stem; R6: day when 50% of plants have at least one pod containing a full-sized green seed in any stem; R7: day when 50% of plants first have at least one pod that is yellowing in any stem. Physiological maturity.

Con los coeficientes ajustados, el modelo se transforma en una herramienta más efectiva para ser utilizada en planificación, manejo de cultivos y sus consecuencias, así como diseñar distintas estrategias ante el cambio climático y el pronóstico de rendimiento.

La lista de los coeficientes genéticos (originales y obtenidos después de la parametrización) se puede ver en la tabla 4 (pág. 59).

Si se analiza el impacto del cambio climático sobre el rendimiento (figura 2, pág. 60) en porcentajes proyectados para los años 2030 y 2060, en comparación con el clima actual, para la fecha de siembra considerada normal en la región (12 de noviembre) y en condiciones de sequo, se observa que la misma genética presentaría un 34 y 38% de aumento del rendimiento para las proyecciones climáticas de las décadas 2030 y 2060, respectivamente.

Los aumentos se deberían al incremento en la tasa de fotosíntesis, como consecuencia del aumento en la concentración de CO₂ para una planta C₃ como es la soja. Además, la concentración de CO₂ y su efecto interactúan con la temperatura y las precipitaciones, resultando un análisis complejo y aún bajo estudio (27).

Tabla 4. Coeficientes genéticos originales (soja del grupo IV) y calibrados para los cultivares Asgrow 4656 y Don Mario DM4700.

Table 4. Genetic coefficients: original (group IV soybeans) and calibrated for Asgrow 4656 and Don Mario DM4700 cultivars.

Código	Originales	Asgrow	Don Mario
CSDL fotoperíodo crítico (horas) por debajo del cual el desarrollo reproductivo no es afectado por la longitud del día	13,09	13,20	12,95
PPSEN pendiente de la tasa relativa (1/horas) de desarrollo para longitudes del día superiores a CSDL o sensibilidad fotoperiódica	0,294	0,294	0,294
EM-FL tiempo (días fototermales) desde el final de la fase juvenil a la primera flor, duración mínima con temperatura (T) y fotoperíodos (F) óptimos (T F op)	19,4	12,5	15,0
FL-SH tiempo (días fototermales) desde la primera flor a la primera vaina (T F op)	7,0	8,5	9,7
FL-SD tiempo (días fototermales) desde la primera flor a la primera vaina con semillas (T F op)	15,0	15,0	19,4
SD-PM tiempo (días fototermales) desde la primera vaina conteniendo semillas a madurez fisiológica (T F op)	34,0	28,0	35,1
FL-LF tiempo (días fototermales) desde la primera flor al final del crecimiento de hojas (T F op)	26,0	26,0	26,0
LFMAX tasa fotosintética máxima (m.mol. CO ₂ /m ² .s) con saturación lumínica y temperatura óptima	1,03	1,25	1,10
SLAVAR área foliar específica (cm ² /g) para hojas nuevas durante el pico de crecimiento vegetativo	375	400	390
XFRUIT fracción máxima de la fotosíntesis bruta diaria disponible para semillas y vainas	1,0	1,0	1,0
WTPSD: peso máximo de semilla (g) bajo condiciones no limitantes de sustrato	0,19	0,19	0,19
SFDUR: duración (días fisiológicos) de llenado de semilla	23,0	21,0	21,0
SDPDV número de semillas por vaina	2,20	2,10	2,10
PODUR tiempo (días fisiológicos) para que el cultivo adquiera la carga completa de vainas en condiciones óptimas	10,0	12,0	16,0

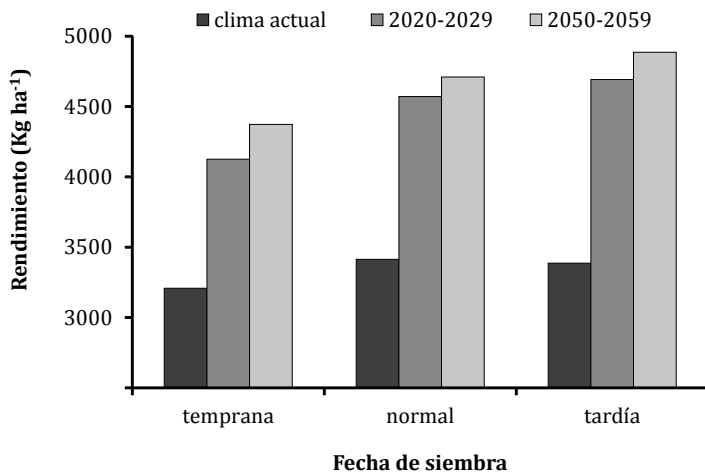


Figura 2. Estimaciones de rendimiento actual de soja y proyecciones para las décadas 2020/29 y 2050/59 de soja, para tres fechas de siembra: normal (12 de noviembre), 15 días antes (temprana) y 15 días después, en las condiciones agroclimáticas de Azul.

Figura 2. Estimates of current soybean yield and projections for the decades 2020/29 and 2050/59 for three sowing dates. Standard (November 12), 15 days before (early) and 15 days later, in the agroclimatic conditions of Azul.

Aumentos en el rendimiento para el cultivo de soja de 24, 44 y 54% fueron previstos para las décadas de 2020, 2050 y 2080 en trabajos realizados por Murgida *et al.* (2014) usando proyecciones del modelo PRECIS. Otros trabajos han previsto aumentos del 68% (promedio para la Región pampeana) en el rendimiento de soja para finales del siglo XXI utilizando versiones anteriores del DSSAT y el modelo regional MM5-CIMA bajo el mismo escenario SRES A1 (27, 28).

El cambio en el clima debe acompañar lo que en Agrometeorología se denomina *sincronización*, que consiste en sembrar el cultivo cuando los elementos del tiempo y el clima son óptimos para el mismo y constituye una medida de adaptación a los nuevos escenarios climáticos.

En la figura 2 también se puede observar la variación del rendimiento simulado en una fecha de siembra temprana y tardía en comparación con la fecha de siembra normal para el cultivo creciendo en condiciones de secano en el clima actual y futuro.

En las condiciones de clima actual, cualquier cambio en la fecha de siembra no refleja mejoras en el rendimiento del cultivo, sino por el contrario, presenta disminuciones entre 6 y 10% para fechas tempranas y tardías, respectivamente.

Para los escenarios simulados, el adelanto de la fecha de siembra tampoco favorece el rendimiento (-10% para 2030 y -7% para 2060 respectivamente).

En cambio, atrasando 15 días la fecha de siembra se observan aumentos de 3 y 4% para el clima 2030 y 2060, respectivamente.

El atraso en la fecha de siembra muestra un aumento en los rendimientos porque los cambios de temperatura proyectados permitirían desplazar el ciclo del cultivo hacia condiciones térmicas más favorables sin correr riesgos de heladas. Mejoras en el rendimiento para el cultivo de maíz con siembras tardías fueron encontrados para esta misma zona (51).

Es necesario aclarar que en este estudio no se ha tenido en cuenta el efecto de las plagas y enfermedades sobre el cultivo, ni los efectos de aclimatación que el mismo podría tener a las nuevas condiciones climáticas. Además, la estimación de los impactos potenciales del cambio incluye la confiabilidad de los escenarios climáticos definidos con proyecciones que fueron realizadas para un período de 10 años, lo cual impide evaluar aspectos de suma importancia para la actividad agrícola como lo es la variabilidad interanual.

Estos resultados preliminares muestran que los impactos a nivel de rendimiento son positivos y altos, indicando que el cultivo de soja sería poco

afectado por los escenarios climáticos futuros. Esto indica que existe una alta probabilidad de que la tendencia a la expansión del cultivo continúe.

CONCLUSIONES

El modelo CROPGRO-soybean ajustado para las condiciones locales, es una herramienta útil para simular el comportamiento de cultivos de soja en condiciones reales.

El modelo puede ser utilizado como herramienta de planificación, permitiendo cuantificar el impacto y formular distintas estrategias de manejo ante diversos escenarios climáticos.

Con el CROPGRO-soybean calibrado y validado, el análisis del impacto del clima futuro, generado por el modelo PRECIS y desarrollado para las décadas 2020 y 2050 bajo el escenario socioeconómico futuro A2 predice un aumento de rendimiento en el cultivo de soja para las próximas décadas. La estrategia de atraso en la fecha de siembra puede ser beneficiosa para aumentar aún más los rendimientos, aprovechando las nuevas condiciones ambientales que tendrán un período libre de heladas más extenso que el actual.

BIBLIOGRAFÍA

1. AABA. Atlas Ambiental de Buenos Aires. 2010. Disponible en: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar>. (Fecha de consulta: 16/02/2014).
2. Alves, L.; Marengo, J. 2010. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*. 100: 337-350.
3. Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper n° 56. FAO. Roma.
4. Boote, K.; Jones, J.; Hoogenboom, G. 1998. Simulation of crop growth: CROPGRO model. En: Peart, R. M., Curry, R.B. (eds.). *Agricultural systems modelling and simulation*. Marcel Dekker, New York. p. 651-692.
5. Boote, K.; Jones, J.; Hoogenboom, G.; Batchelor, W.; Porter, C. 2010. CROPGRO: crop growth and partitioning module. En: J. W. Jones, G. Hoogenboom, P. W. Wilkens, C. H. Porter, and G. Y. Tsuji (Ed.). *Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Volume 4. DSSAT v4.5: Crop Model Documentation*. University of Hawaii. Honolulu, H I.

6. Cabré M.; Solman S.; Nuñez M. 2010. Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's and 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations. *Climatic Change*. 98: 449-469.
7. Cassel, D.; Nielsen, D. 1986. Field capacity and available water capacity. In KLUTE, A. (ed). *Methods of soil analysis*, Madison, ASA-SSSA, Monograph N°9. 25 p.
8. Confalone, A.; Boote, K.; Lizaso Sau, F. 2011. Temperature and Photoperiod Effects on Vicia faba Phenology Simulated by CROPGRO-Fababean. *Agronomy Journal*. 103: 1036-1050.
9. CRAGM. Boletín del Centro Regional de Agrometeorología. Boletín Agrometeorológico del Centro-Sur de la Provincia de Buenos Aires. 1988-2014. Facultad. Agron. Azul. Buenos Aires.
10. Curry, R.; Peart, R.; Jones, J.; Boote, K.; Allen, L. 1990. Response of crop yield to predicted changes in climate and atmospheric CO₂ using simulation. *Trans Am Soc Agron Eng*. 33: 1383-1390.
11. Curry, R.; Jones, J.; Boote, K.; Peart, R.; Allen, L.; Pickering, N. 1995. Response of soybean to predicted climate change in the USA. In: *Climate change and agriculture: analysis of potential international impacts*. ASA special publication N° 9, American Society of Agronomy, Madison. p. 163-182.
12. Deis, L.; de Rosas, M. I.; Malovini, E.; Cavagnaro, M.; Cavagnaro, J. B. 2015. Impacto del cambio climático en Mendoza. Variación climática en los últimos 50 años. Mirada desde la fisiología de la vid. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 67-92.
13. Egli, D.; Bruening, W. 1992. Planting date and soybean yield: Evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO. *Agric For Meteorol*. 62: 19-29.
14. Egli, D.; Tekrony, D.; Heitholt, J.; Rupe, J. 2005. Air temperature during seed filling and soybean seed germination and Vigor. *Crop Sci*. 45: 1329-1335.
15. Fehr, W.; Caviness, C. 1977. Stages of soybean development, Special Report 80, Iowa State University of Science and Technology, Ames, IA.
16. Gardner, W. 1986. Water content (Ed.) *Methods of soil analysis*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. p. 493-594.
17. Hoogenboom, G.; Boote, K.; Jones, J. 1997. Modeling and risk management of soybean. In: *Proc World soybean research conference*, Kasetsart University Press, Bangkok. p 292-298.
18. Hoogenboom, G.; Jones, J.; Wilkens, P.; Porter, C.; Boote, K.; Hunt, L.; Singh, U.; Lizaso, J.; White, J.; Uryasev, O.; Royce, F.; Ogoshi, R.; Gijsman, A.; Tsuji, G.; Koo, J. 2012. DSSAT. Decision Support System for Agrotechnology Transfer, version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii. Honolulu.
19. Hume, D.; Jackson, A. 1981. Pod formation in soybeans at low temperature. *Crop Science*. 21: 933-937.
20. INTA. 1973. Cuadernillo de la carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3760-16. Azul. Buenos Aires.
21. IPCC. Intergovernmental Panel on climate change. 2001. McCarthy, J.; Canziani, O.; Leary, N.; Dokken, D.; White, K. (ed). *Climate change. impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
22. IPCC. Intergovernmental Panel on climate change 2014. Report: *Climate Change 2014*. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. (Fecha de consulta: 20/09/2014).
23. Jones, J.; Ritchie, J. 1991. Crop growth models. In: *Management of farm irrigation systems*. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph. p. 69-98.
24. Jones, J.; Hoogenboom, G.; Porter, C.; Boote, K.; Batchelor, W. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*. 18: 235-265.
25. Köppen, W. 1931. *Grundriss der Klimakunde*, Walter de Gruyter Co, Berlin und Leipzig. 388 p.
26. Lal, M.; Singh, K.; Srinivasan, G.; Rathore, L.; Naidu, D.; Tripathi, C. 1999. Growth and yield response of soybean in Madhya Pradesh, India to climate variability and change. *Agric. Forest Meteorol*. 93: 53-70.
27. Magrin, G.; Travasso, M.; Díaz, R.; Rodríguez, R. 1997. Vulnerability of the agricultural systems of Argentina to climate change. *Climate Research*. 9: 31-36.

28. Magrín, G.; Gay García, C.; Cruz Choque, D.; Giménez, J.; Moreno, A.; Nagy, G.; Nobre, C.; Villamizar, A. 2007. Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (ed. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson). Cambridge University Press, UK. 581-615.
29. Mall, R.; Lal, M.; Bhatia, V.; Rathore, L.; Singh, R. 2004. Mitigating climate change impact on soybean productivity in India: a simulation study. *Agricultural and Forest Meteorology*. 121: 113-125.
30. Marengo, J.; Jones, R.; Alves, M.; Muniz, L.; Valverde, M. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in south America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int J Climatol*. 29: 2241-2255.
31. Marin, F.; Ribeiro, R.; Marchiori, P. 2014. How can crop modeling and plant physiology help to understand the plant responses to climate change? A case study with sugarcane. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. 26: 49-63.
32. Mestelan, S. 2011. Características, distribución y usos de los suelos del partido de Azul. En: Requesens, E. (coordinador). Bases agroambientales para un desarrollo sustentable del partido de Azul. Docuprint S.A., Buenos Aires. 136 p.
33. Murgida, A.; Travasso, M.; González, S.; Rodríguez, G. 2014. Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la Argentina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2014. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. N° 155.
34. Mussetta, P.; Barrientos, M. J. 2015. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el Cambio Ambiental Global: clima, agua, economía y sociedad. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 145-170.
35. Nagarajan, K.; O'Neil, R.; Lowenberg-Deboer J.; Edwards C. 1993. Indiana Soybean system model (ISSM): I. Crop model evaluation. *Agric Syst*. 43: 357-379.
36. Nakicenovic, N.; Alcamo, J.; Davis, G.; De Vries, B.; Fenhann, J.; Gaffin, S.; Gregory, K.; Grübler, A.; Yong, J. 2000. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U. K. 599 p. Disponible en: <http://www.grida.no/climate/pcc/emission/index.htm>. (Consultado el 24/06/2013).
37. Navarro, M.; Confalone, A.; Vilatte, C.; Aguas, L. 2011. Bases agroambientales para un desarrollo sustentable del partido de Azul. Docuprint S.A., Buenos Aires. 136 p.
38. Palosuo, T.; Kersebaum, K.; Angulo, C.; Hlavinka, P.; Moriondo, M.; Olesen, J.; Patil, R.; Ruget, F.; Rumbaur, C. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. *Eur J. Agron*. 35: 103-114.
39. Pazos, M. S. 2009. Los Phaeozem pampeanos en la WRB 2006. *Geociencias*. 16: 19-22.
40. Pickering, N.; Jones, J.; Boote, K. 1995. Adapting SOYGRO V5.42 for prediction under climate change conditions. In: Climate change and agriculture: analysis of potencial international impacts, ASA special publication N° 59, American Society of Agronomy, Madison. p. 77-98.
41. Porter, C.; Jones, J.; Adiku, S.; Gijsman, A.; Gargiulo, O.; Naab, J. 2010. Modeling organic carbon and carbon-mediated soil processes in DSSAT v 4.5. *Operational Research*. 10: 247-278.
42. Requesens, E. 2011. Capítulo V. Integración agroecológica del partido de Azul. En: Requesens, E. (coordinador). Bases agroambientales para un desarrollo sustentable del partido de Azul. Docuprint S.A., Buenos Aires. 136 p.
43. Ressia, J.; Lázaro, L.; Lett, L.; Mendivil, G.; Portela, G.; Balbuena, H. 2003. Sistemas de labranza e inoculación en soja. Efectos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. *Agrociencia* 37: 167-176.
44. Rosenzweig, C.; Jones, J.; Hatfield, J.; Ruane, A.; Boote, K.; Thorburn, P.; Antle, J.; Nelson, G.; Porter C.; Janssen, S.; Asseng, S.; Basso, B.; Ewert, F.; Wallach, D.; Baigorria, G. Winter, J. 2013. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): protocols and pilot studies. *Agric For Meteorol*. 170:166-182.

45. Ruíz-Nogueira, B.; Boote, K; Sau, F. 2001. Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. *Agricultural Systems*. 68: 151- 173.
46. Sau, F.; Boote, K.; Ruíz-Nogueira, B. 1999. Evaluation and improvement of CROPGRO-soybean model for a cool environment in Galicia, northwest Spain. *Field Crop Research*. 61: 273-291.
47. Seiler, R.; Vinocur, M. 1995. Evaluación de un modelo de rendimiento como herramienta para la planificación y el manejo de cultivo. *Agriscientia*. 12: 53-59.
48. SIIA. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Programa de Servicios Agrícolas Provinciales, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Disponible en: <http://www.siiia.gov.ar/series>.(Fecha de consulta: 12/09/2015).
49. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
50. Travasso, M.; Magrin, G.; Rodriguez, G.; Solman, S.; Nunez, M. 2007. Climate change impacts on regional maize yields and possible adaptation measures in Argentina. *International Journal of Global Warming*. 1: 201-213.
51. Vilatte, C.; Confalone, A. 2012. Impacto del cambio climático sobre el cultivo de maíz en el centro de la Provincia de Buenos Aires. Editorial Académica Española. 81p.
52. Willmott, C. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society* 63:1309-1313.
53. Wolf, J. 2002. Comparison of two soya bean simulation models under climate change. II. Application of climate change scenarios. *Climate Research*. 20:71-81.

Estudio de las prestaciones de cabezales arroceros con sistema draper

Study of performance of rice with system draper heads

Ramón Hidalgo ¹, Oscar Pozzolo ², Emiliano Serafini ¹, Fabio Domínguez ¹, Julio Beltramino ³, Guido Botta ^{4,5}

Originales: Recepción: 30/11/2015 - Aceptación: 01/04/2016

RESUMEN

En un establecimiento arrocero de la provincia de Corrientes se evaluó el desempeño de una cosechadora axial equipada con un cabezal de 25 pies con sistema draper. Se realizó cuatro tratamientos: cosechadora con cabezal 625D a velocidad 3 km/h (T1); 3,5 km/h (T2); 4 km/h (T3); 4,5 km/h (T4). Las variables en estudios (variables respuestas) fueron: pérdidas por cola, daño mecánico al grano, ruido. Las determinaciones de daño mecánico se realizó en cuatro lugares: draper, sinfines alimentadores del cilindro axial, extremo inferior de noria y tolva de almacenamiento. Para las determinaciones de ruido se realizó mediciones de acuerdo con las normas sugeridas por el Instituto de Ingeniería Rural del INTA Castelar. Conclusiones: 1) Los daños ocasionados a los granos, medidos como grano quebrado, tienen como principal responsable al mecanismo alimentador de sinfines. 2) El sistema draper se comportó en forma eficiente produciendo el conjunto draper, molinete y cuchillas de corte daños mínimos. 3) Los sistemas de alimentación (cabezal) y el sistema de trilla axial no mostraron saturación aún a las velocidades más altas de 4,5 km/h comportándose eficientemente. 4) A partir de los 3,2 km/h el sistema de separación y el de limpieza comenzaron a mostrar saturación elevándose las pérdidas en forma no proporcional. 5) El ruido para el operador dentro de la cabina satisface las normativas para realizar jornadas completas de labor demostrando un alto nivel de insonorización respecto del ruido exterior de la máquina.

Palabras clave

cosechadora • pérdidas de granos • daño mecánico • ruido

-
- 1 Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Sargento Cabral 2138 - (3400) Corrientes. rhidalgo@agr.unne.edu.ar
 - 2 Estación Experimental INTA Concepción del Uruguay.
 - 3 Especialista de Productos de Cosecha de Industrias John Deere Argentina S.A.
 - 4 Universidad Nacional de Luján, Ruta Nacional 5 y Av. Constitución (6700) Luján, Buenos Aires. Argentina.
 - 5 Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires (UBA), Av. San Martín 4453, Buenos Aires. Argentina.

ABSTRACT

In a rice establishment of the province of Corrientes was evaluated an axial combine equipped with a head of 25 feet draper system. Four treatments were carried on: head 625D Combine at 3 km/h (T1), at 3.5 km/h (T2), 4 km/h (T3) and 4.5 km/h (T4). The variables under study were grain losses, grain mechanical damage and noise. Mechanical damage was determined in four locations: draper, auger feeders axial cylinder, grain wheel and grain tank. The determination of noise was with standards suggested by the Institute of Rural Engineering INTA Castelar. Conclusions: 1) Damage to the grain is primarily responsible auger feeder mechanism. 2) The draper was working efficiently with minimal damage. 3) Feeding systems (head) and the axial threshing showed no saturation even at the highest speeds of 4.5 km/h. 4) From the 3.2 km/h the system of separation and cleaning began to show saturation. 5) The sound inside the cabin was not over the standards.

Keywords

combine • grain mechanical damage • grain loss • noise

INTRODUCCIÓN

Mundialmente se reconoce con el nombre de arroz a un grupo de unas 19 especies de plantas anuales de la familia de las Gramíneas (9) siendo la especie *Oriza sativa* L., por su aporte alimenticio, la de mayor importancia para la humanidad ya que constituye el principal alimento en la dieta de más de la mitad de la población mundial (2).

Investigaciones realizadas por Bahgat (2004) indican que este cultivo es la base de su dieta para más de 4,4 mil millones de personas incrementándose su demanda anual en un 3%, esta tendencia se mantiene en la actualidad (22).

Más de un 85% del área de cultivo se realiza por irrigación debido a que esta metodología permite aumentar los rendimientos (14, 21).

Russell (2001) señala que el arroz irrigado contribuye con el 80% de la producción total mundial y que, según el IRRI (International Rice Research Institute), el arroz de secano solo aporta el

5%, manteniéndose en la actualidad esta tendencia (13, 15).

El riego por inundación le da características particulares a este cultivo inclusive en la cosecha, causando dificultades en el tránsito de la maquinaria por la escasa sustentabilidad del suelo (10, 18, 23, 24) originando baja eficiencia de cosecha (6).

En la actualidad, el manejo del cultivo permite realizar cosecha en seco solucionando en gran medida este inconveniente.

Sin embargo, desde el punto de vista de las pérdidas de cosecha se observa un nivel que durante las últimas campañas ascienden, en promedio, a valores de 100 kg/ha que representan aproximadamente 25.855 t traducidas en 3,9 millones de dólares (11).

Desde el punto de vista de diseño de elementos constitutivos de las cosechadoras, existen varios factores incidentes en las pérdidas, uno de ellos es la conducción del material recolectado desde los extremos del

cabezal hacia el embocador; los cabezales tradicionales conducen el material recolectado por medio de un sinfín hacia el sistema de trilla (20).

Este sistema frecuentemente produce alimentaciones desuniformes, principalmente debido a que el material cortado no ingresa directamente al sinfín, al existir una distancia entre la cuchilla de corte y las espiras pudiendo provocar acumulaciones de material, además de desordenarlo retorciéndolo.

Esta desuniformidad del material que ingresa a la cosechadora provoca ineficiencias en el proceso de trilla (sea axial o tradicional), debido al mayor esfuerzo que se produce cuando ingresa el bolo causando una sobrealimentación, con aumento en el consumo de combustible y mayores pérdidas de granos por cola, dado que resulta más difícil que los granos sueltos cuelen hacia el sistema de limpieza (4).

En los últimos años la oferta tecnológica del parque de cosechadoras en Argentina, se ha visto revolucionada con la llegada de los cabezales con alimentación por lonas o Draper, constituido de un chasis, una barra de corte que en algunos cabezales cuentan con sistema de copiado del terreno flexible/flotante y un molinete especial orbital. Otros cuentan con barra de corte fija y molinete con dedos unidireccionales.

A diferencia de los cabezales tradicionales, en el cabezal draper el sinfín acarreador se ve reemplazado por un conjunto de bandas de caucho acarreadoras.

Las mismas trabajan llevando el material cortado desde los laterales del cabezal hacia el centro, que según el modelo y marca pueden tener una sola lona por cada lado o dos lonas en cada mitad del cabezal.

Una vez en el centro, el material es depositado en una lona dispuesta en el mismo sentido de avance de la

cosechadora o tomado por un rotor que lo deja en el embocador (Pozzolo, comunicación personal. Dr. Ing. Agr. Oscar Pozzolo es especialista en Mecanización Agrícola y Director de la Estación Experimental INTA de Concepción del Uruguay, Argentina).

Este tipo de cabezal posibilita la alimentación del órgano de trilla de la máquina con un flujo uniforme y parejo, ya que el material cortado por la barra de corte, forma un colchón que ingresa ordenadamente a la máquina, sin retorcerse. Esto se traduce en varias ventajas, en primer lugar una potencial disminución en las pérdidas, fundamentalmente en cultivos con altos índices de cosecha como lo es el arroz, y en segundo lugar, menores esfuerzos en el órgano de trilla, pudiendo incluso mejorar la capacidad de trabajo ante variaciones en el contenido de humedad del material, lo que significa menores consumos y más horas de trabajo (12). Sin embargo, la principal motivación del ingreso de estos sistemas ha sido la posibilidad que dan de aumentar el ancho de labor con menor peso, alimentación uniforme y menos problemas de flexión como lo tienen los sinfines.

Actualmente en Argentina se están construyendo cabezales sojeros de 40 pies (12 m) (3) dimensión muy difícil de alcanzar utilizando sistema de sinfín.

Otro aspecto, cada vez más tenido en cuenta por parte de los fabricantes, es lo relacionado con la ergonomía, definida como el descubrimiento y aplicación del conocimiento sobre las habilidades, limitaciones y otras características del ser humano al diseño de herramientas, máquinas, sistemas, empleo y medio ambiente para lograr un uso seguro, confortable y efectivo por parte del hombre (5).

Dentro de este campo, uno de los parámetros estudiados es el ruido causado por los mecanismos y sistemas de las maquinarias y su efecto al ser humano.

En este sentido, el draper puede ser un mecanismo que presente ventajas sobre los sinfines al utilizar materiales con menor capacidad de generación de ruido.

Se define como ruido a cualquier sonido que contenga información no deseada o perturbadora para quien deba escucharlo.

La contaminación por ruido y los niveles tolerables, medidos en decibelios (dBA), son tratados en varias legislaciones.

Existen distintas legislaciones y normativas en relación con el ruido, algunas de las cuales se refieren específicamente al ruido, y otras lo incluyen como parte de una problemática más amplia. Según Miyara (2000), en Argentina existen dos leyes laborales que incluyen *in extenso* la cuestión del ruido: la Ley N° 19.587/72, de Higiene y Seguridad en el Trabajo, con su decreto reglamentario N° 351/79, la Ley N° 24.557/95, de Riesgos del Trabajo, que va acompañada por los decretos reglamentarios N° 170/96 y N° 333/96, la resolución N° 38/96 SRT y el laudo N° 156/96 MTSS. Estas leyes protegen directa o indirectamente al trabajador y establecen límites de exposición diaria.

En el Decreto N° 351/79, que reglamenta a la ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo, se introduce el concepto de Nivel Sonoro Continuo Equivalente (NSCE) como el nivel sonoro de un ruido constante a lo largo de la jornada laboral.

El máximo NSCE admisible es de 90 dBA para una jornada laboral de 8 horas. Esto implica que se toleran 90 dBA continuos durante 8 horas, o bien 93 dBA durante 4 horas, o bien 96 dBA durante 2 horas, etc. Vale decir que se admite un aumento del nivel sonoro de 3 dBA por cada reducción a la mitad del tiempo de exposición, si bien existen otros criterios, estos son muy similares en términos generales (17).

Sobrepasar estos límites implica que al cabo de 20 años de actividad laboral,

un 22% de los expuestos experimentarán déficit auditivo irreversible (según lo indicado en la recomendación internacional ISO R 1999/70). A partir de esta información, el decreto reglamentario impone un límite de precaución de 85 dBA. Por encima de este nivel sonoro, deben realizarse exámenes audiométricos periódicos a todos los expuestos, y en caso de notarse un aumento del umbral, el trabajador deberá obligatoriamente utilizar protectores auditivos.

A pesar de la masiva adopción de los sistemas draper en grandes cabezales por parte de la mayoría de los fabricantes, en la bibliografía no se observa información del comportamiento de estos sistemas en parámetros particularmente importantes para el cultivo de arroz, tales como: daño mecánico al grano, ruido y capacidad operativa en función del incremento de velocidad de avance. Todos ellos considerados relevantes para establecer un perfil del comportamiento de este sistema, más allá de sus bondades respecto del tamaño, que en este cultivo no son relevantes al presentar limitaciones por desniveles, producto de los camellones. Por tales motivos, se consideró importante realizar investigaciones que puedan aportar conocimiento sobre estas variables para su uso en este cultivo.

Objetivo

Evaluar el comportamiento de una cosechadora equipada con cabezal draper en un cultivo de arroz desde el punto de vista de pérdidas de granos, daño mecánico al grano y ruido.

Hipótesis

Los cabezales draper presentan un mejor comportamiento que los convencionales de tornillo sinfín respecto de menores niveles de ruido, pérdidas de grano y daño al mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el establecimiento arrocero Santa Marina de la empresa Adeco Agropecuaria SRL, ubicado en cercanías de la localidad de Itá Ibate, provincia de Corrientes (35°7' Sur; 57°1' Oeste). El criterio de elección del sitio fue la disponibilidad de equipo agrícola de diferentes características, en óptimas condiciones para realizar los tratamientos y de personal de campo en forma permanente, con experiencia en el cultivo y en la utilización de la maquinaria para el trabajo.

El lote elegido correspondió a un arroz con un rendimiento de 8260 kg/ha, considerado homogéneo en un suelo clasificado como Albacualf típico Serie Chequín (7), con muy escasa pendiente y sistematizado a nivel cero sin presencias de taipas (camellones de igual cota que permite mantener la misma altura de lámina de agua dentro del lote).

El ensayo se realizó durante el período de cosecha, en el mes de marzo, utilizándose una cosechadora axial John Deere STS 9570; equipada con cabezal de 25 pies, (7,6 m), con sistema draper mod. 625D, la tolva tenía una capacidad de 8800 l.

Para el ensayo se contó con el apoyo de técnicos de J. Deere SA de manera de asegurar la utilización de regulaciones recomendadas por el fabricante.

Se trabajó a cuatro velocidades: 3; 3,5; 4 y 4,5 km/h las que constituyeron los tratamientos, las condiciones del lote sistematizado a nivel cero sin presencia de taipas, posibilitaron trabajar a estas velocidades.

Para cada uno de ellos se evaluó pérdidas por cabezal y cola. Todos los tratamientos se realizaron en el mismo lote con una misma variedad y momento del día.

Para la determinación de pérdidas se utilizó dos metodologías, la primera desarrollada por la Cátedra de Mecanización Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNNE y el INTA PRECOP (2004) haciendo uso de aros ciegos de $\frac{1}{4}$ m².

Esta metodología, si bien se considera precisa para mediciones a campo, puede tener una tendencia a sobrevalorar las pérdidas ya que utiliza una superficie fija de medición. Por tal motivo, se utilizó en forma paralela, un segundo método, propuesto por los técnicos de John Deere SA, utilizado frecuentemente en ensayos, de acuerdo con las recomendaciones de la norma ANSI/ASAE S396.2, 1991. Así fue utilizada una lona de 2,0 m de ancho, necesario para que todo el material que salga por la cola caiga sobre la lona.

El largo de la lona es de 2,80 m que multiplicado por 7,6 m (ancho de corte de la plataforma), da un tamaño de muestra de 21,30 m² donde se recolectó todo el material procesado por el sistema de trilla, separación y limpieza, el que pesado en totalidad determinaba la ingesta para cada velocidad en estudio.

En cada método se tomó tres repeticiones por velocidad. Para realizar las determinaciones de pérdidas por cola fue necesario quitar los desparramadores de rastrojo.

Para determinar la incidencia del draper en el daño mecánico al grano, se trabajó a similares velocidades que para la determinación de pérdidas, tomándose 3 muestras de panojas de planta en pie, es decir, previo al pasaje de la cosechadora, las que fueron desgranadas manualmente y los granos secados a temperatura controlada hasta 12-13% de humedad, al igual que el resto de las muestras. Los granos enteros y quebrados se determinaron por molinillo Zatake bajo los estándares comerciales usuales.

En el sistema draper se tomó 3 muestras (una en la lona derecha, una en la lona izquierda y una del rotor alimentador al embocador).

A modo de contar con otras variables explicativas y para tener una información comparativa con otros elementos causantes de daño mecánico al grano, se tomó 3 muestras del sistema de trilla a la altura de los sinfines alimentadores del cilindro axial, 3 muestras del extremo inferior de noria y 3 muestras de la tolva de almacenamiento de la cosechadora, realizándose 3 repeticiones por cada determinación (fotos).

Se tomó la velocidad real de avance por medio de GPS con un error de $\pm 0,3$ km/h, corroborado mediante el tiempo tardado en recorrer 100 m. Se analizó tiradas de 100 m de largo por el ancho del cabezal.

Para determinar el ruido provocado por la cosechadora equipada con el cabezal con sistema draper, se utilizó un decibelímetro marca Extech Modelo 407764, N° de serie 991200218, con un rango variable entre 30 y 130 dB y Data Logger de la información. Fue calibrado mediante el calibrador Extech 407769 - IEC 942 Class 2 - ANSI S1.40 - 1984 con n° de serie 000507227.



Foto. Lugar de muestreo para determinación de daño mecánico al grano. a) Draper, b) sinfines alimentadores, c) extremo inferior de noria, d) tolva de almacenamiento.

Photo. Location of sampling for determination of mechanical damage to the grain. a) Draper, b) auger feeders axial cylinder, c) lower end of grain wheel, d) grain tank.

Las mediciones se realizaron de acuerdo con las normas sugeridas por el Instituto de Ingeniería Rural del INTA Castelar, tomándose datos dentro de la cabina en cuatro sitios distintos: a la altura del oído izquierdo, del oído derecho, en el frente y atrás del conductor, con el equipo de aire acondicionado en marcha.

Por otra parte, se realizó mediciones fuera de la cabina y a nivel de la plataforma de acceso, cuando la cosechadora estaba cosechando. Estas mediciones, dentro de cabina y en plataforma de acceso, se realizó con tres repeticiones para cada velocidad en estudio.

Paralelamente a ello y a nivel del suelo con la máquina en posición estática, es decir no cosechando, pero con los mecanismos en funcionamiento, se evaluó los niveles de ruido en el centro, extremo derecho e izquierdo del cabezal, de manera de contar con una variable explicativa complementaria, tomándose tres repeticiones.

El diseño experimental propuesto fue en bloques completamente aleatorios, los tratamientos principales fueron:

- T1. Cosechadora con cabezal 625D a velocidad 3 km/h.
- T2. Cosechadora con cabezal 625D a velocidad 3,5 km/h.
- T3. Cosechadora con cabezal 625D a velocidad 4 km/h.
- T4. Cosechadora con cabezal 625D a velocidad 4,5 km/h.

Las variables en estudios (variables respuestas) fueron:

- Pérdidas por cola.
- Daño mecánico al grano.
- Ruido.

Además, en las evaluaciones de pérdidas, se analizó si ambas técnicas son apropiadas para determinaciones a campo correlacionándolas por medio del método de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Daño mecánico al grano

Estadísticamente no se registraron diferencias entre velocidades y dentro de los sitios de muestreo, lo que indica que los diferentes sistemas continuaban teniendo capacidad, a pesar del aumento de la tasa de ingestión producto de aumento de la velocidad.

Si se considera que la tendencia de los sistemas de trilla y acarreo es a producir mayores daños en la medida que se saturan, es posible inferir que los mismos estaban lejos de este punto, ya que tampoco se visualiza una tendencia a aumentar daños.

A pesar de que el análisis no fue realizado entre lugares de muestreo sino entre velocidades, de acuerdo con los valores registrados, se observa que los sinfines alimentadores del cilindro axial y el extremo inferior de noria fueron los que causaron más daño, determinándose en promedio 0,76% y 0,72% respectivamente, mientras que en el draper el porcentaje de daño fue de 0,30%.

Es relevante destacar que en ningún caso se detectó la presencia de panojas trilladas en forma incompleta.

Debe considerarse que en el muestreo del draper involucra la incidencia que pudo haber tenido el molinete y eventuales acciones de la cuchilla.

De acuerdo con lo observado, es posible inferir que el draper prácticamente no provoca alteraciones en la calidad del grano.

Si se analizan las mediciones como porcentuales del total dañado, se destaca las roturas producidas por los sinfines alimentadores. Estos son responsables del 34% de los granos dañados que llegan a la tolva, superando a lo dañado por el sistema de trilla y por la noria, que en su conjunto llegan al 32%.

Por otro lado se puede observar que el promedio total de grano quebrado producido por la cosechadora fue del 2,22%, no muestra tendencia a aumentar con el incremento de la velocidad. (tabla 1 y tabla 2, pág. 73)

Pérdidas de grano

Las pérdidas de grano fueron determinadas a nivel de la cola de la máquina, es decir, contabilizando las producidas por los mecanismos de limpieza y separación tal como fue explicitado en materiales y métodos por medio de dos métodos

diferentes, el propuesto por INTA (2004) y el basado en la norma ANSI/ASAE S396.2, 1991 para cada tratamiento. Los resultados pueden observarse en la tabla 3 (pág. 73).

Debido a que este último recoge todo el material arrojado por la cola de la máquina, es posible estimar la ingesta total de la cosechadora por hectárea.

En la superficie de muestra de 21,30 m² el promedio de la cantidad de rastrojo medido fue de 9,75 kg para las cuatro velocidades analizadas el cual llevado a hectáreas resulta 4.577,46 kg de paja que ingresan a la máquina.

Tabla 1. Análisis estadístico del daño mecánico al grano en los sitios de muestreos y para las cuatro velocidades en estudio.

Table 1. Statistical analysis of mechanical damage to the grain in the sampling sites and for four speeds in study.

Daño mecánico. Valores promedios en porcentaje Granos enteros (%)									
Velocidad (km)	Grano en planta	Draper	Rotura Draper	Sinfines alimentadores	Rotura sinfines	Extremo inferior de noria	Rotura extrema inferior de noria	Tolva	Rotura Tolva
3,0	55,43 a	55,17 a	0,26	54,37 a	0,80	53,60 a	0,77	53,13 a	0,47
3,5	55,43 a	55,13 a	0,30	54,40 a	0,73	53,70 a	0,70	53,27 a	0,43
4,0	55,43 a	55,07 a	0,36	54,30 a	0,77	53,63 a	0,67	53,23 a	0,40
4,5	55,43 a	55,17 a	0,26	54,43 a	0,74	53,70 a	0,73	53,20 a	0,50
Promedio	55,43	55,14	0,295	54,38	0,76	53,66	0,72	53,21	0,45
Desvío Estándar	--	0,05	0,047	0,06	0,032	0,05	0,043	0,06	0,044
C.V. (%)	--	9	16	11	4	9	6	11	9,8

Números seguidos de letras diferentes en filas y columnas registran diferencias significativas $p > 0,05$. Análisis por columnas.

Numbers followed by different letters on rows and columns recorded significant differences $p > 0.05$. Analysis by columns.

Tabla 2. Daños producidos como porcentajes del total del grano quebrado por la cosechadora a cuatro velocidades

Table 2. Damages as percentages of the total grain broken by the combine at four speeds.

Daño mecánico en % causado por draper, sinfines alimentadores, noria y mecanismos de tolva.							
Velocidad (km)	Grano entero en planta	Grano entero en tolva	Daño Draper	Daño Sinfines alimentadores	Daño noria	Daño Tolva	Total daño grano
3,0	55,43	53,13	11,3	34,78	33,47	20,43	2,30
3,5	55,43	53,27	13,88	33,79	32,40	19,90	2,16
4,0	55,43	53,23	16,36	35,0	30,45	18,18	2,2
4,5	55,43	53,20	11,66	33,18	32,73	22,42	2,23
Promedio	55,43	55,14	13,3	34,19	32,26	20,34	2,22

Tabla 3. Pérdidas de grano por cola a cada velocidad de ensayo.

Table 3. Losses of grain per queue at each test speed.

Velocidad km/h	Pérdida por método S396.2		Método INTA-UNNE
	Peso total muestra (kg)	Pérdida en kg/ha	Pérdida en kg/ha
3,0	10,5	61,97 a	75,7 a
3,5	10,0	68,00 a	89,6 a
4,0	8,5	56,33 a	105,6 a
4,5	10,0	145,50 b	152,5 b

Números seguidos de letras diferentes en filas y columnas registran diferencias significativas $p > 0,05$.
Análisis por columnas.

Numbers followed by different letters on rows and columns recorded significant differences $p > 0.05$.
Analysis by columns.

Si a este valor se le suma el rendimiento promedio de granos por hectárea (8.260 kg/ha) se obtiene la ingesta total de 12.837,46 kg de material (grano + paja).

Tal como era esperable, el método INTA-UNNE arrojó valores ligeramente más altos que el otro. Cabe destacar que en la velocidad de 4 km/h, en el método S396.2 se observa el mínimo valor tanto, de pérdida (56,33 kg/ha), cuanto de peso

total de la muestra (8,5 kg) indicando un menor ingreso de material que incidió en los resultados.

En las figuras 1 y 2 (pág. 74), se puede observar que ambas metodologías indican que las pérdidas van aumentando con la velocidad en forma no proporcional como es esperable a medida que se van saturando los mecanismos de limpieza.

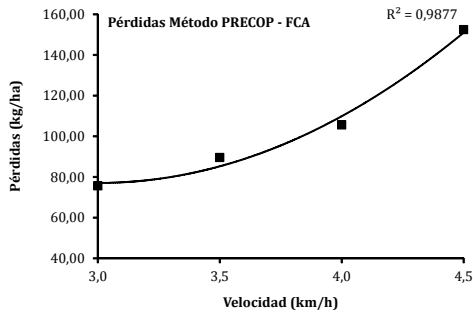


Figura 1. Pérdidas de grano por separación y limpieza a diferentes velocidades por método INTA-UNNE.

Figure 1. Losses of grain separation and cleaning at different speeds by INTA- UNNE method.

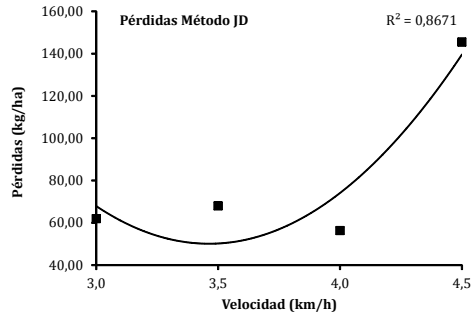


Figura 2. Pérdidas de grano por separación y limpieza a diferentes velocidades por método S396.2.

Figure 2. Losses of grain separation and cleaning at different speeds by method S396.2.

Efectuando la ecuación de regresión, se encuentra que la función de ajuste polinómica de grado 2 utilizada tiene la siguiente expresión:

$$y = 32,95x^2 - 197,8x + 374,1$$

Si se realiza la derivada, la expresión queda reducida a $65,9x - 197,8$

A partir de la expresión anterior se calcula que la velocidad crítica, donde los sistemas entran en fase de saturación, se encuentran por encima de los 3 km/h, momento a partir del cual no convendría aumentar la velocidad de cosecha en este cultivo, al menos para las condiciones del ensayo.

Si se realizara un procedimiento similar a partir de los valores obtenidos por el método S396.2, y aplicando una ecuación de regresión polinómica de segundo grado similar al estudio anterior, se obtiene $y = 83,14x^2 - 575,7x + 1046,3$, nuevamente si se deriva la ecuación

resulta en $166,28x - 575,7$, lo que indica que según este procedimiento la velocidad máxima más conveniente es de 3,46 km/h.

Estos valores son interesantes de contrastar con los resultados observados en rotura de granos. Si se toma el daño al grano y a la ausencia de panojas sin trillar o parcialmente trilladas como un indicador del comportamiento de los sistemas de trilla y alimentación, se puede inferir que los mismos no mostraban signos de saturación. A partir de lo cual, la limitación en la capacidad de trabajo de esta cosechadora, por lo menos para el cultivo de arroz que presenta altos volúmenes de material, está dada por su sistema de separación axial o sistema de limpieza y no por el resto de los mecanismos. En este sentido se deberían realizar otros estudios para determinar en cuáles de los mecanismos se presentan las principales limitaciones, sistema de separación axial, sistema de limpieza (zarandón, zaranda o ventilación).

A partir de los valores obtenidos es posible estimar una capacidad de trabajo teórica partiendo de un ancho de corte efectivo de 7,5 m, una eficiencia de trabajo en arroz del 0,8 y una velocidad óptima de cosecha promediando los dos métodos utilizados de 3,23 km/h a través de la siguiente expresión:

$$\frac{[(7.5 * 3230 \text{ m/h}) * 0,8]}{(10000 \text{ m}^2 / \text{ha})} = 1,94 \text{ ha/h}$$

Para saber si las metodologías pueden ser utilizadas en determinaciones a campo se correlacionaron, dando como resultado un valor de $r=0,892$ $P\text{-valor}<0,001$ indicando correlación entre ambos métodos por lo que se puede inferir que cualquiera de estas técnicas pueden ser usadas sin mayores inconvenientes (tabla 4).

Niveles de ruido

Otro de los aspectos evaluados fueron los niveles de ruido producidos por la máquina equipada con la plataforma 625D.

Los resultados se pueden observar resumidos en la tabla 5 (pág. 76).

Es importante destacar que dentro de la cabina en ningún momento y en ninguna de las posiciones de muestreo

del operador, fueron superados los 75 dB manteniéndose por debajo de las exigencias máximas para cumplimentar una jornada de trabajo, a pesar de que incluso el equipo de aire acondicionado se encontraba encendido.

Respecto del nivel de ruido que ocasionaba el equipo, exteriormente los niveles fueron importantes superando valores de 92 dB, los que aumentaron en la medida que se aumentaba la velocidad de cosecha, encontrándose diferencias significativas a partir de los 4 km/h. Esta situación demuestra el grado de insonoridad logrado constructivamente en la cabina que equipaba la máquina.

Desde el punto de vista del ruido ocasionado por el cabezal draper, es importante, más de 90 dB detectándose una mayor fuente de ruido en su parte central. En este sentido es importante destacar que las mediciones, si bien fueron tomadas a nivel del cabezal, están contaminadas por los otros sistemas complementarios, tales como acarreador, cadenas, eje cardánico, etc., de existir una mejora en el nivel de ruido provocada por este sistema se vería enmascarada por el resto de los mecanismos, incluido el ruido del motor.

Tabla 4. Correlación entre metodologías de determinación de pérdidas.

Table 4. Correlation between methods of determination of losses.

	Método 1	Método 2
Método 1	1.0000000	0.0000001
Método 2	0.8919799	1.0000000

Referencia: Método 1 = Método INTA-UNNE / Método 2 = Método S396.2.

Reference: Method 1 = INTA-UNNE / Method 2 method = method S396.2

Tabla 5. Ruido producido por la cosechadora a cuatro velocidades en diferentes ubicaciones.**Table 5.** Noise produced by the combine at four speeds in different locations.

Velocidad (km/h)	Sitios de muestreo. Valores en Decibeles (dB)								
	Cabina. Altura cabeza del conductor				Fuera de cabina		Estático funcionando medido en el cabezal		
	oído izquierdo	oído derecho	delante	atrás	Arriba	Extr. izq.	Centro	Extr. derecho	
0	---	---	---	---	---	90,66	94,78	90,72	
3,0	75,31c	74,85c	74,02c	74,73c	92,16 b	---	---	---	
3,5	75,10c	74,63c	74,29c	74,61c	92,89ab	---	---	---	
4,0	74,57c	74,48c	75,15c	75,07c	93,47ab	---	---	---	
4,5	74,54c	74,76c	74,57c	74,44c	94,63a	---	---	---	
Prom.	74,88	74,68	74,57	74,71	93,29	---	---	---	

Números seguidos de letras diferentes en filas y columnas registran diferencias significativas $p > 0,05$.

Numbers followed by different letters on rows and columns recorded significant differences $p > 0.05$.

CONCLUSIONES

Los daños ocasionados a los granos, medidos como grano quebrado, tienen como principal responsable al mecanismo alimentador de sinfines.

El sistema draper se comportó en forma eficiente produciendo daños mínimos, el conjunto draper, molinete y cuchillas de corte.

Los sistemas de alimentación (cabezal) y el sistema de trilla axial no mostraron saturación aún con las velocidades más altas de 4,5 km/h comportándose eficientemente.

A partir de los 3,2 km/h el sistema de separación y el de limpieza comenzaron a mostrar saturación elevándose las pérdidas en forma no proporcional.

El ruido para el operador dentro de la cabina satisface las normativas para realizar jornadas completas de

labor demostrando un alto nivel de insonorización respecto del ruido exterior de la máquina.

RECOMENDACIONES

Sería muy conveniente repetir el ensayo con dos cabezales, un draper y un sinfín, de manera de cuantificar diferencias de sistemas. De poder realizar este ensayo se debería ubicar algún sector de arrocería sin presencia de barro o agua, de manera de contabilizar pérdidas específicas de cabezal y no solamente cola.

En el mismo ensayo se considera importante identificar cual/es sistema/s de limpieza y separación son los primeros en saturarse.

De manera similar sería muy interesante identificar las fuentes externas de ruido.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bahgat, R. M. 2004. Rice lands of South and South East Asia-Some soil physical aspects. Department of Soil Science, CSKHPAU, Palampur-176062, H. P. INDIA. 49-61.
2. Bolsa de cereales de Buenos Aires. 1970. Anuario de Números Estadísticos Buenos Aires. República Argentina. 47 p.
3. Bragachini, M. 2011. Crecimiento del Sector de la Maquinaria Agrícola Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: www.agriculturadeprecision.org.
4. Bragachini, M.; Peiretti, J.; Sanchez, F.; Ustarroz, F. 2011. Cosecha de Trigo con valor agregado en origen. Actualización Técnica N° 68. INTA. Disponible en: www.cosechaypostcosecha.org.
5. Chapains, A. 1999. The chapains chronicles, 50 years of human factors research, education and design. Aegean Publishing Company, Santa Barbara.
6. De Datta, S. 1986. Principles and of rice production. Editor: Wiley & Sons. Limusa. 688 p.
7. Escobar, E. H.; Ligier, H. D.; Melgar, R.; Matteio, R.; Vallejos, O. 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes. 1:500.000. Convenio MAGIC - INTA. Recursos Naturales, EEA INTA Corrientes. 215 p.
8. Facultad de Ciencias Agrarias-INTA PRECOP. 2004. Metodología de determinación de pérdidas en arroz. Disponible en: www.cosechaypostcosecha.org.
9. Grist, D. H. 1975. Rice. Editorial Longman Group Limited. Editorial Continental. 716 p.
10. Hidalgo, R.; Mirón, M.; Pozzolo, O.; Ferrari, H.; Curró, C. 2005. Análisis de diferentes aspectos relacionados con la eficiencia en la cosecha de arroz. En: Memorias CADIR 2006 1: 94- 98. VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. San Luis. Argentina.
11. Hidalgo, R.; Pozzolo, O. 2007. Cosecha. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de Arroz en Corrientes. Convenio Asociación Correntina de Plantadores de Arroz (ACPA) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 65-71.
12. Hidalgo, R.; Pozzolo, O. 2011. Nuevas tecnologías en cosecha de arroz. Proyecto de eficiencia en cosecha y postcosecha. Informe Técnico. 8 p.
13. Hidalgo, R. J.; Botta, G. F.; Tolón Becerra 4, A.; Pozzolo, O. R.; Dominguez, J. F.; Serafini, E. 2014. Rastrojo de arroz (*Oryza sativa* L.) en sistemas de siembra directa: alternativas de manejo. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(2): 163-175.
14. Kawaguchi, H.; Kyuma, K. 1977. Paddy Soils in tropical Asia. The material nature and fertility. The University Press of Hawaii, Honolulu. 12(2): 177-192.
15. Méndez del Villar, P. 2007. Rice markets of the America's. An analyst view. Congreso de arroz de las Américas. Cancún, México.
16. Miyara, F. 2000. Aspectos legales de la lucha contra el ruido y pautas para su mejoramiento. Disponible en: <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/legales.htm>. Visita: 2/12/2013.
17. Navarro Zamorano, S. 2007. Cómo proteger la audición. Disponible en: <http://www.revistaalcorac.es/tsfc2007/MNPROTEGERAUDICION2004.htm> Visita: 2/12/2013.
18. Pozzolo, O.; Hidalgo, R. 1996. Efecto del tránsito inundado. 1 Rueda Pala. Congreso Internacional de Ingeniería Rural. Neuquén, Argentina. 1: 130-135.
19. Russell, F. 2001. Nuffield Scholarship Report. 2001 Asia - Europe - North America Tour. Self organized study tour studying rice seeding techniques, spraying and monitoring equipment. Self organized visits and meetings to Rice Research and Extension facilities, Rice Seed Facilities, Rice Farmers and Rice Food Processors. 47 p.
20. Stadler, S.; Botta, G. F. 2015. Caracterización parcial de los contratistas de servicios de maquinaria agrícola en la micro región 2 –provincia de La Pampa, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 135-143.

21. Tinarelli, A. 1988. *Il Riso*. Edagricole. Edizioni Agricole. 575 p.
22. United nations Food And Agriculture (FAO). 2014. *World rice statistics*. Report November. 67 p.
23. Varade, S. B.; Ghildyal, P. B. 1967. Effect of varying bulk densities on low land rice growth. *Il Riso*. 16: 33-40.
24. Varade, S. B.; Ghildyal, P. B. 1968. Effect of bulk density and seed placement on up-land rice seeding emergence. *Agronomy Journal*. 60: 240-341.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Julio Beltramino y a la Firma Demartin por el apoyo y predisposición para la realización de los ensayos.

Al Sr. Mario Autanac del Instituto de Ingeniería Rural de Castelar por apoyo en las determinaciones de ruido.

Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina

Soil compaction induced by machinery at polo fields in Argentina

Daniel Andrés Laureda ¹, Guido Fernando Botta ^{1,2}, Alfredo Tolón Becerra ³, Héctor Gustavo Rosatto ¹

Originales: *Recepción*: 27/04/2015 - *Aceptación*: 23/12/2015

RESUMEN

La nivelación de tierras es una forma de disturbio del suelo que altera sus propiedades físicas. En Argentina la nivelación de tierras se ha extendido también, con el objeto de formar campos deportivos. El hecho de mover suelo quitando de un lugar para rellenar en otro, produce una ruptura de la estructura con aumento del volumen ocupado por aire. Las partículas se reacomodan de manera distinta a la original. Los movimientos de suelo, producen a menudo una mezcla de horizontes edáficos. Este efecto disminuye el volumen ocupado por los poros e incrementa la densidad aparente y la tensión del suelo. Uno de los principales problemas que se genera con la sistematización es la compactación del suelo. La misma a su vez incide en el índice de esponjamiento /compactación utilizado para el cálculo de volumen de tierra a mover. El sitio de estudio se ubica a 100 kilómetros de Buenos Aires (34°31'47" S 59°02'15" O). Los objetivos principales del trabajo fueron, i) Aportar evidencia a la plataforma cognitiva actual, relativa al comportamiento físico-mecánico de suelos sometidos al movimiento de tierra con fines deportivos ii) Caracterizar el comportamiento mecánico de un suelo argiudol típico sistematizado con el fin de utilizarlo como campo de polo. Los principales resultados obtenidos fueron: a) Se alcanzaron índices de esponjamiento/compactación > 25%, b) el impacto del movimiento del suelo sobre el contenido de materia orgánica es menor al ocurrido sobre los parámetros físicos, c) tanto la intensidad de tránsito de las maquinarias como el peso de las mismas influyen sobre el índice de esponjamiento/compactación, d) el pasaje de la maquinaria produce compactación a nivel subsuperficial. La compactación superficial se da en mayor medida en el campo en uso, debido a las maquinarias de mantenimiento y los caballos para el juego.

Palabras clave

sistematización • mecánica de suelos • coeficiente de esponjamiento/compactación • campo de polo

-
- 1 Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía; Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. Av. San Martín 4453 CABA. Argentina.
 - 2 Universidad Nacional de Luján, Dpto. de Tecnología. Cruce de Ruta 5 y Av. Constitución, C. P. 6700, Luján. Argentina.
 - 3 Universidad de Almería Ctra. Sacramento s/n. La Cañada de San Urbano. 04120. Almería, España.

ABSTRACT

The land leveling is a form of disturbance of the soil that alters its physical properties. In Argentine the leveling of lands is also extended to a different objective: the sport field construction. The movement of soil from one place to another one produces a rupture of the structure with increase of the volume occupied by air. The soil particles are reordered in a different form from the original one. The soil movements often produce a mixture of edafics horizons. This packing effect diminishes the volume occupied by the pores and increases bulk density and soil tension. One of the main problems that are generated by the land leveling is the compaction. When soil is compacted, non-accommodating faces form smaller aggregates pores. During the whole work, different problems appears, such as: leveling precision; project mark errors in the land, the machinery passes calculation to carry out the work; soil moisture content at the land leveling and the rain value during the earth movement. The present study was carried out in fields located 100 km away from Buenos Aires (34°31'47" S 59°02'15" W). The main objectives of the work were i) to contribute with evidence to the now-a-day knowledge platform, related to the soil physical-mechanical behavior in soils subjected to soil movement with sport aims; ii) to feature the mechanical behavior of a typical argiudol soil in a land leveled polo field. The more important results were: a) swelling factor values > 25%, b) the impact of the soil movement on the organic mater content is smaller than the one happened on the physical parameters, c) both, the traffic intensity as well as the machinery weight have influence on the swelling factor index/compaction d) the machinery passes produces subsoil compaction. Top soil compaction is given, in a further degree, in a field in use, due to the uses of maintenance machineries and the horse transit for the game.

Keywords

grading • soil mechanics • swelling factor • polo field

INTRODUCCIÓN

La nivelación de tierras es una forma de disturbio del suelo que altera sus propiedades físicas y es comúnmente conducida en campos para el cultivo de arroz (*Oriza sativa* L.) (13). En Argentina esta práctica se ha extendido, con el objeto de formar campos deportivos y entre ellos los de polo. El desarrollo de estos campos requiere la modificación de superficies del orden de 5 a 6 hectáreas según los casos.

La provincia de Buenos Aires concentra gran parte de esta actividad y tiene mucho desarrollo el cinturón ubicado entre 50 y 150 km de la Ciudad de Buenos Aires.

Estos campos deben reunir determinadas características de diseño, a saber, escurrimiento de excesos de agua sin que queden superficies encharcadas, distribución uniforme de humedad, horizonte superficial de espesor tal que asegure el desarrollo de raíces de césped, superficie no dura ni compactada.

En un sentido restringido al uso topográfico, "sistematizar" un terreno, es ajustar la superficie del mismo a la de un plano proyecto, cuya inclinación responda a las pendientes naturales o a las establecidas por el diseñador, de modo

de lograr el menor movimiento de tierra posible (34).

Unger *et al.* (1990) e Hidalgo *et al.* (2014) indican que, la estabilidad de los agregados, el contenido de materia orgánica, arcilla, limo y arena fueron significativamente afectados por la nivelación o sistematización del suelo.

Seino (1999) y Rosatto *et al.* (2009), señalan la importancia de considerar la desuniformidad de la naturaleza física del suelo en los movimientos de suelos.

Uno de los problemas que se genera con la sistematización es la compactación del suelo. Esta última es, de acuerdo con Swan *et al.*, (1987), el efecto de "empaque" de una fuerza mecánica sobre el suelo. Este efecto disminuye el volumen ocupado por poros e incrementa la densidad aparente y tensión del suelo.

Varios autores vinculan la compactación a factores tales como el tráfico y el peso de la maquinaria agrícola. Para Botta *et al.* (2002) y Domínguez *et al.* (2000), el tráfico vehicular es el principal responsable de la compactación inducida en suelos bajo producción, siendo la textura y su contenido de humedad los aspectos más relevantes en relación con la reducción del espacio poroso. Alakukku (1996) determinó que la compactación inducida por el tráfico vehicular persistía entre 3 y 11 años en suelos con porcentajes de arcilla entre el 6% y el 85%, aún con períodos de congelamiento del suelo en profundidad, cuando el mismo fue transitado con altas cargas sobre el eje.

El número de veces en que el sustrato es transitado, también es un factor determinante. Tanto la densidad aparente como la profundidad y la superficie de suelo compactado, aumentan progresivamente con el número de pasadas (8, 25).

La densidad aparente y la resistencia a la penetración son frecuentemente usadas

para la caracterización del grado de compactación de un suelo y del efecto producido por las labranzas (3).

Es generalmente aceptado que valores de resistencia a la penetración de 1,5 MPa reducirían el crecimiento de las raíces, y de 2 o más MPa lo impedirían (41).

En cuanto al peso de la maquinaria, Botta *et al.* (2006a), indican que el mismo en combinación con el tráfico, son los responsables de la compactación en suelos bajo producción, siendo la textura y su contenido de humedad los aspectos más relevantes en relación con la reducción del espacio poroso.

La compactación subsuperficial observada en un suelo franco arenoso es explicada, en parte, por la coincidencia de los estados de humedad óptimos para labranza, con los que producen la máxima compactación (16).

Busscher *et al.* (2000) y Topp *et al.* (2003), citado por Bachmann *et al.* (2006) señalan que la fuerza de los suelos trabajados varía rápidamente con los cambios en el contenido de humedad, determinando el tiempo posible de *transitabilidad*.

Peng *et al.* (2004) citan que la estructura de poros del suelo y la conductividad hidráulica cambian durante la compactación.

Concerniente al índice de esponjamiento/compactación, el hecho de mover suelo quitando de un lugar para agregar en otro, produce una ruptura de la estructura con un aumento del volumen ocupado por aire.

Posteriormente, con el movimiento de la maquinaria (peso), lluvia o riego, las partículas se reacomodan de manera distinta a la original.

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos cita que el volumen comprendido en un metro cúbico de tierra, en su condición natural, aumenta al aflojarse por causa de la excavación.

Esto se conoce como "aumento de volumen". Cuando esta tierra se vuelca en una zona de terraplén (relleno) y se compacta, su volumen disminuye. Algunas de las razones expuestas para explicar el factor de pérdida de volumen aparentemente alto, requerido en la nivelación de terrenos, son: i) La mayor parte de los materiales movidos en la nivelación de terrenos forman la capa superficial (arable) con un alto contenido de materia orgánica y con un peso relativamente bajo por unidad de volumen original; ii) Las áreas de excavación del terreno están sujetas a una compactación considerable debido al equipo que se emplea en el movimiento de tierra (38).

Rodríguez Plaza (2000) cita para trabajos de sistematización, coeficientes de aumento del volumen de desmonte respecto del de terraplén, los cuales varían entre el 15 y el 50% en función del tipo de suelo (textura) y la profundidad de corte desde 0 a 1 metro de profundidad.

El movimiento de tierra con equipos pesados no se realiza con un 100% de eficiencia, ya que parte del material se pierde en el acarreo, pero muy especialmente, por la compactación del material. Por estas razones, en un cálculo aproximado del movimiento de tierra, se recomienda incrementar en un 30% el volumen calculado (31).

De la revisión bibliográfica no surge un tratamiento en detalle en relación con la generación del llamado factor de "esponjamiento". En los casos donde se presentan valores, estos se relacionan con clases texturales sin antecedentes de carácter experimental que fundamenten los mismos.

Por otra parte, los datos existentes, al no corresponder al país, no aseguran que se ajusten a las características de los suelos.

Objetivos principales

i) Aportar evidencia a la plataforma cognitiva actual, relativa al comportamiento físico-mecánico de suelos sometidos al movimiento de tierra con fines deportivos.

ii) Caracterizar el comportamiento mecánico de un suelo argiudol típico sistematizado con el fin de utilizarlo como campo de polo.

Objetivos específicos

i) Aportar conocimientos relativos con la incidencia de la compactación producida por la maquinaria en la sistematización .

ii) Encontrar posibles relaciones entre la compactación producida en la sistematización y los factores de intensidad del tráfico, peso y número de pasadas ($Mg.km.ha^{-1}$), en suelos removidos con fines deportivos.

iii) Estudiar el efecto del tipo y textura del suelo analizado sobre el índice de esponjamiento e interpretar valores que puedan ser utilizados como normales en suelos sistematizados.

Hipótesis

i) Con independencia de la humedad edáfica, el impacto de la sistematización es mayor sobre la densidad aparente y la resistencia a la penetración que sobre la materia orgánica.

ii) Sin perjuicio de su mayor capacidad portante, los suelos sistematizados, reciben el impacto del tráfico y del pisoteo animal.

iii) La distribución de la compactación subsuperficial producida por tráfico en las tareas de sistematización, se debe al peso de la maquinaria utilizada en dicha tarea.

iv) El estado mecánico del suelo no es el único factor que incide sobre el índice de esponjamiento del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayo

El ensayo se realizó en dos lotes ubicados a 100 km de Buenos Aires (34°31'47" S 59°02'15" O).

El suelo corresponde a un Argiudol típico, fase inclinada fina, illítico, térmica (Soil Taxonomy 1994), perteneciente a la serie Solís, La región está cubierta uniformemente por un manto loésico de más de dos metros de espesor. Este material, es rico en vidrio volcánico, anfíboles, piroxenos y minerales de arcilla del grupo de las illitas (el porcentaje de arcilla es de aproximadamente 17%).

El paisaje comprende lomas alargadas y planicies suavemente onduladas.

En las posiciones más elevadas y mejor drenadas se desarrollan Argiudoles típicos; en las pendientes se encuentra Argiudoles típicos, inclinados; en las posiciones más planas y algo deprimidas evolucionan a Argiudoles ácuicos; en las

partes bajas adyacentes a los cursos de agua, se encuentran Natracuales típicos y Natracualfes típicos.

El Desarrollo es A1 - B1 - B21t - B22t - B23t -Cca. Bien drenado. Sin alcalinidad ni salinidad.

El horizonte A1 (Ap-A12) tiene 4,51% de materia orgánica y textura franco-limosa a franco-arcillo-limosa.

Entre los horizontes subsuperficiales el B1 tiene textura franco-limosa y estructura en prismas moderados. El B2t, dividido en tres subhorizontes: B21t, B22t y B23t es franco-arcillo-limoso a arcillo-limoso con estructura en prismas moderados y abundantes barnices. El B3 tiene textura franco-limosa, estructurado en bloques, con abundantes barnices.

El perfil típico y los datos analíticos se pueden ver en la tabla 1.

Tabla 1. Datos del perfil del suelo.

Table 1. Soil Profile data.

Horizontes	Ap	A12	B1	B21t	B22t	B23t	B3	Cca
Profundidad (cm)	0 - 15	16 - 22	23 - 35	35 - 60	65 - 80	90 - 110	120-150	160 - 220
Carbono Orgánico (%)	1,74	1,35	0,93	0,63	0,50	0,31	0,22	0,14
Nitrógeno Total (%)	0,24	0,14	0,10	0,085	0,075	0,058	0,042	-
Arcilla (<2 μ)	21,2	25,5	24,9	33,2	47,5	33,0	23,0	15,8
Limo (2-20 μ)	32,3	34,7	29,8	29,3	20,8	31,2	32,9	28,7
Limo (2-50μ)	75,6	70,8	67,2	61,3	50,0	63,0	72,7	79,9
Arena fina (100 - 250μm)	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
pH	5,4	5,3	5,5	5,5	5,8	6,0	6,0	7,5
pH en H ₂ O (1: 2,5)	5,8	5,8	6,0	6,2	6,5	6,4	6,4	7,9
Cationes de cambio (m.e. 100g ⁻¹)								
Ca ⁺⁺	11,4	12,7	12,0	13,8	18,3	17,2	16,5	-
Mg ⁺⁺	2,9	2,5	3,1	4,5	6,5	6,4	3,8	-
Na ⁺	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5
K ⁺	1,4	1,0	0,9	1,3	2,3	2,4	2,3	2,4

En cuanto a las maquinarias, los tractores del ensayo son los comúnmente utilizados en estas labores y la potencia de los mismos, responde a los valores modales obtenidos en estudios previos realizados en la región bajo estudio. Corresponden a un tractor Deutz A70 y un tractor Deutz A85. Sus características se pueden ver en la tabla 2.

Los implementos de labranza y movimiento de suelo utilizados fueron: pala de arrastre de 3 m³ de capacidad; rastra de discos y dientes; hoja niveladora de arrastre "Grosspal" de 3 metros de ancho

de implemento y rabasto nivelador de 6 metros de ancho. Para el mantenimiento se utiliza un tractor Massey Ferguson, cuyas características se presentan en la tabla 3.

El estudio se realizó en dos lotes abarcando 9,6 hectáreas, (325 por 150 y de 315 por 150 metros cada uno).

En cada lote se efectuó un relevamiento planialtimétrico -nivelación areal- con nivel de anteojo Modelo Wild NAK2, en puntos ubicados según una cuadrícula de 25 x 25 metros, materializados con estacas, precisando la ubicación altimétrica al centímetro.

Tabla 2. Características de los tractores utilizados en los ensayos.

Table 2. Characteristics of the tractors used in the trials.

Características de los tractores	Deutz A70	Deutz A 85
Tracción	2WD	2WD
Potencia en el motor (kW)	47,4	58
Peso total con lastre (kN)	43	44,1
Peso eje delantero (kN)	12,9	13,1
Peso eje trasero (kN)	30,1	31
Rodado delantero	750,20	750,34
Rodado trasero	15,00-34	15,00-34
Estado de los rodados delanteros y traseros	Regular	Regular
Altura de los tacos ruedas motrices (mm)	29	27
Presión de inflado delantero (kPa)	160	160
Presión de inflado trasero (kPa)	100	90

Tabla 3. Características del tractor Massey Ferguson.

Table 3. Massey Ferguson tractor characteristics.

Características del tractor	Massey Ferguson
Tracción	2WD
Potencia en el motor (kW)	32,6
Peso total con lastre (kN)	20,6
Peso eje delantero (kN)	6,2
Peso eje trasero (kN)	14,4
Rodado delantero	650 - 16
Rodado trasero	16,9 - 34
Estado de los rodados delanteros y traseros	bueno
Altura de los tacos ruedas motrices (mm)	37
Presión de inflado delantero (kPa)	200
Presión de inflado trasero (kPa)	110

Con los datos del relevamiento se efectuó el modelo de movimiento de tierra consistente en modificar la forma del terreno creando condiciones aptas para su utilización como campo de polo (pendientes adecuadas para la no acumulación de agua).

Terminado el movimiento del suelo y ajustada la forma al modelo, se efectuó la medición de compactación.

Las variables relacionadas con compactación fueron la resistencia a la penetración (R.P.) con penetrómetro registrador, la densidad aparente (DAP) con sonda nucleogammamétrica, infiltración básica (IB) y porosidad total del suelo (PTS) tomados sobre el terreno.

Los puntos de toma de dichas variables, se ubicaron planimétricamente mediante la determinación de sus coordenadas "X" e "Y".

Se utilizó una Estación Total Pentax PCS-215 de 1500 metros de alcance, con +/- 5 mm + 3 ppm de precisión en la distancia y 5" en la precisión angular.

Se aseguró la ubicación planimétrica de los puntos de muestreo dentro del centímetro. Los datos obtenidos se volcaron en un programa de dibujo asistido que permitió determinar la distancia entre los puntos mencionados, en los distintos tratamientos, y descartar los muy próximos y cuyo valor de R.P., DAP, IB y PTS pudiera corresponder a una muestra disturbada por una toma anterior en el mismo sitio o muy próximo a él.

Tratamientos

Los tratamientos fueron determinados por la secuencia de tareas empleadas para realizar el movimiento del suelo así como la maquinaria empleada y las tareas propias del mantenimiento y uso del campo.

Tratamiento 1 (Testigo)

Suelo sin realización de labores.

Tratamiento 2 (Campo recién terminado).

El trabajo iniciado con palas de arrastre individuales en cada tractor (no en tándem) (Deutz A70 con la pala "tipo ladrillera" y el Deutz A85 con la pala John Deere, con pasadas hasta totalizar los m³ de movimiento de tierra según modelo).

Tareas finalizadas con 4 pasadas con rastra de discos y dientes, hoja de arrastre niveladora Grosspal y por último pasadas de rabasto nivelador.

Tratamiento 3 (Campo en uso)

Trabajo iniciado con palas de arrastre individuales en cada tractor (no en tándem), utilizando pala "tipo ladrillera" y pala John Deere, con pasadas hasta totalizar los m³ de movimiento de tierra según modelo. Posteriormente, aplicación de 4 pasadas de rastra de discos y dientes. Luego pasaje de hoja niveladora de arrastre. Tres pasadas de rabasto nivelador (longitudinal, transversal, y al sesgo u oblicua). A estas labores se añaden las correspondientes a dos años de mantenimiento y uso.

Luego de tres meses de finalizado el trabajo de movimiento de tierra, el tratamiento 2 necesitó, para corregir imperfecciones, rellenar con arena y tierra usando la pala y hoja niveladora de arrastre. En los tratamientos 2 y 3 se efectuó el control de niveles del terreno, verificando la correspondencia de los mismos con el modelo, como se mencionara.

Variables físicas experimentales del suelo vinculadas con compactación

El suelo fue caracterizado en forma previa a los ensayos. Se realizó para obtener las curvas de compactabilidad Proctor (1933) (ASTM-D-698-58 T) en el intervalo de 0 a 300 mm de profundidad.

Se determinó Densidad Aparente (DAP) con sonda núcleo gammamétrica; humedad (H) por retrodispersión de electrones para intervalos de 0 a 150 mm,

150 a 300 mm y 300 a 450 mm.; Resistencia a la Penetración (RP) con penetrómetro de cono (ASAE S 313) cada 2,5 cm hasta 450 mm.; Porosidad por horizontes; Materia orgánica (MO) en laboratorio.

Realizado el movimiento de suelo, se evaluó las variables respuesta vinculadas con la persistencia de la labor en función de la intensidad de tránsito aplicada.

Las intensidades de tráfico fueron calculadas a partir del peso del equipo, su ancho de labor y el número de pasadas sobre el terreno (3, 6, 7, 8, 9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Consideraciones para el sitio de ensayo (caracterización)

A efectos de independizar el parámetro resistencia a la penetración de la humedad del suelo que pudiera enmascarar densificaciones, se tomó en forma previa a la realización de las labores de cada tratamiento y de la toma de este parámetro, la humedad en el perfil del suelo (tabla 4). Esta misma modalidad fue hecha también en el testigo.

Luego de la toma de datos de humedad, no se encontró influencia de esta en los valores medidos de R.P, en consecuencia se optó por trabajar con los datos tomados inmediatamente después de las labores.

Tomando como base la propuesta de selección de neumáticos del Manual editado por el NIAE (National Institute Agricultural Engineering) (20) resulta que, para todos los tractores utilizados en los ensayos, los tamaños de sus neumáticos coinciden con la propuesta citada, y con las aconsejadas por el fabricante del tractor (tablas 2 y 3, pág. 84).

Las presiones de inflado de los neumáticos utilizados en los tractores probados estaban comprendidas dentro de los intervalos de presiones recomendados por Dwyer y Febo (1987).

En cuanto a la condición original del suelo sin laboreo, que fuera considerada como testigo, se presentan los valores obtenidos de resistencia a la penetración y densidad aparente.

Tabla 4. Valores de humedad gravimétrica en el perfil del suelo para el testigo previo al ensayo.

Table 4. Gravimetric humidity values in the soil profile for the test previous to the trial.

Intervalo de profundidad (mm)	Humedad (% p/p)
	Testigo
0 - 150	22 a
150 - 300	22 a
300 - 450	21,5 a
450 - 600	20 a

Letras distintas en sentido horizontal denotan diferencias significativas ($P < 0,05$ Tuckey).

Different letters horizontally denote significant differences ($P < 0.05$ Tuckey).

Tabla 5. Valores medios de resistencia a la penetración (kPa), medidos en la parcela testigo sin laboreo en el perfil de 0 a 150 mm.

Table 5. Mean values of penetrometer resistance (kPa), measured in the control plot without tillage in a 0 to 150 mm profile.

Prof. (mm)	0	25	50	75	100	125	150
Testigo	466,6	872	1358	1868	1931	1970	1870,3

Tabla 6. Valores medios de resistencia a la penetración (kPa) medidos en la parcela testigo sin laboreo en el perfil de 175 a 325 mm.

Table 6. Mean values of penetrometer resistance (kPa), measured in the control plot without tillage in a 175 to 325 mm profile.

Prof. (mm)	175	200	225	250	275	300	325
Testigo	1996	1743	1637	1501	1496	1501	1370

Tabla 7. Valores medios de resistencia a la penetración (kPa) medidos en la parcela testigo sin laboreo en el perfil de 350 a 450 mm.

Table 7. Mean values of penetrometer resistance (kPa), measured in control plot without tillage in a 350 to 450 mm profile.

Prof. (mm)	350	375	400	425	450
Testigo	1203	1110	1063	910	921

Tabla 8. Valores de densidad aparente (Mg/m^3) medidos en la parcela testigo el intervalo de 0 - 450 mm de profundidad.

Table 8. Mean values of bulk density (Mg/m^3) measured in the control plot in the 0 to 450 mm soil depth range.

Prof. (mm)	0 - 150	150 - 300	300 - 450
Testigo	1,45	1,35	1,43

Tabla 9. Valores de infiltración básica, humedad y densidad aparente en el rango de 0 - 200 mm de profundidad.

Table 9. Values of basic infiltration and bulk density in the 0 to 200 mm depth range.

Profundidad (mm)	Sitio de ensayo
lb (cm/h)	3,1
Humedad (%)	22
Dap. (g/cm^3)	1,44

La curva de compactabilidad característica "Proctor", (figura 1, pág. 88) realizada a intervalos de 300 mm de profundidad, dentro del perfil de suelo estudiado, muestra que se producirá la máxima compactación prácticamente a la humedad edáfica del 20%.

Estudio de la respuesta del suelo a los tratamientos de laboreo realizados en el sitio de ensayo.

Resistencia a la penetración

Si se siguen los valores de humedad del suelo estudiado (tabla 10, pág. 88), no hubo diferencias significativas entre estratos para las dos condiciones de suelo utilizadas.

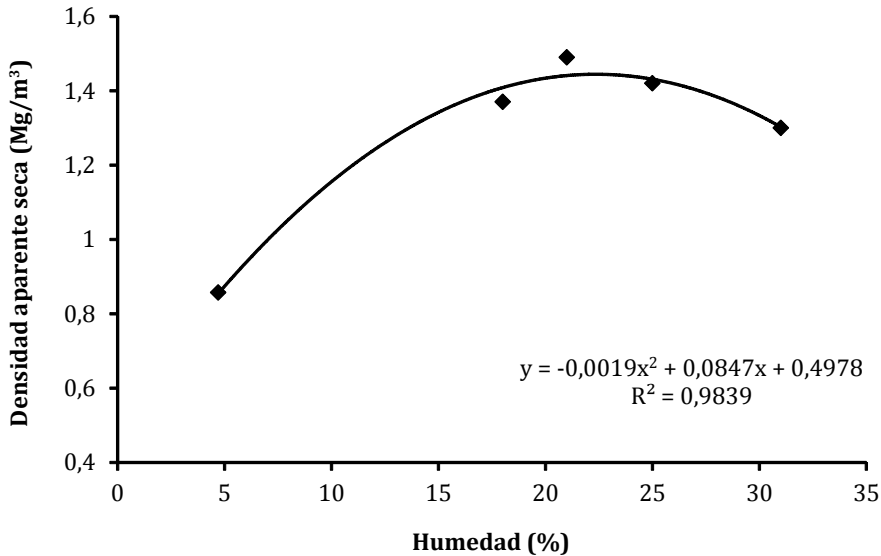


Figura 1. Curvas de compactación de suelo entre 0-300 mm (Test de Proctor).

Figure 1. Compaction soil curves in the range 0-300 mm (Proctor test).

Tabla 10. Campo de polo: valores de humedad gravimétrica en el perfil del suelo.

Table 10. Polo field of: gravimetric humidity values of the soil profile.

Intervalo de profundidad (mm)	Humedad (% p/p)	Humedad (% p/p)	Humedad (% p/p)
	a) Testigo	b) Recién terminado	c) Campo en uso
0 - 150	22 a	20 a	21,3 a
150 - 300	22 a	22 a	23 a
300 - 450	21,5 a	22,3 a	23,5 a
450 - 600	20 a	21,2 a	23,6 a

Letras distintas en sentido horizontal denotan diferencias significativas (P < 0,05 Tuckey).

Different letters horizontally denote significant differences (P < 0.05 Tuckey).

Esto es muy importante ya que, los resultados obtenidos, luego del tráfico, en el parámetro resistencia a la penetración, se deberían al impacto del mismo y no al factor humedad del suelo.

Los resultados de las tablas 11, 12 y 13 (pág. 89), coinciden, en parte, con las conclusiones alcanzadas por Botta (2000), en cuanto a que, en forma independiente del peso en el eje, el pasaje de los tractores induce compactación subsuperficial.

Tabla 11. Valores medios de resistencia a la penetración (kPa) medidos para los tres tratamientos en el perfil de 0 a 150 mm.

Table 11. Mean values of penetrometer resistance (kPa) measured for the three treatments in the 0 to 150 mm soil profile.

Prof. (mm)	0	25	50	75	100	125	150
Testigo SIN USO	466,6 a	872 a	1358 a	1868 a	1931 a	1970 a	1870,3 a
Campo recién terminado	149,1 b	331 b	1037 b	1600 b	1891 a	1906 a	1837 a
Campo en uso	1177 c	2220 c	2695 c	2547 c	2528 c	2518 c	2480 c

Letras distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas ($P < 0,05$ Tuckey).

Different letters vertically denote significant differences ($P < 0.05$ Tuckey).

Tabla 12. Valores medios de resistencia a la penetración (kPa) medidos para los tres tratamientos en el perfil de 175 a 325 mm.

Table 12. Mean values of penetrometer resistance (kPa) measured for the three treatments in the 175 to 325 mm soil profile.

Prof. (mm)	175	200	225	250	275	300	325
Testigo SIN USO	1996 a	1743 a	1637 a	1501 a	1496 a	1501 a	1370 a
Campo recién terminado	1891 b	1896 b	1876 b	1847 b	2050 b	2037,9 b	2141 b
Campo en uso	2510 c	2438 c	2395 c	2274 c	2180 c	2003 b	2132 b

Letras distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas ($P < 0,05$ Tuckey).

Different letters vertically denote significant differences ($P < 0.05$ Tuckey).

Tabla 13. Valores medios de resistencia a la penetración (kPa) medidos para los tres tratamientos en el perfil de 350 a 450 mm.

Table 13. Mean values of penetrometer resistance (kPa) measured for the three treatments in the 350 to 450 mm soil profile.

Prof. (mm)	350	375	400	425	450
Testigo SIN USO	1203 a	1110 a	1063 a	910 a	921 a
Campo recién terminado	2007 b	2199 b	2295 b	2137 b	1813 b
Campo en uso	1582 c	1542,4 c	1435,5 c	1456,3 c	1344,5 c

Letras distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas ($P < 0,05$ Tuckey).

Different letters vertically denote significant differences ($P < 0.05$ Tuckey).

Pese a que el peso en los ejes de los tractores utilizados no supera los 13,1 kN y los 31 kN en el delantero y trasero respectivamente (tabla 5, pág. 87), ninguno de los dos supera los 50 kN sugeridos por Håkansson y Danfors (1981) para limitar la compactación al nivel superficial del suelo. La compactación no pudo limitarse a dicho nivel, tal como fuera sugerido por Van den Akker (1998); sin embargo, condiciona dicha posibilidad a la utilización de rodados de gran superficie de apoyo.

Las presiones medidas, en el área de contacto rueda-suelo, fueron superiores a las estimadas en el mismo trabajo y podrían también, en parte, ser responsables del problema de compactación subsuperficial. Además, los valores de resistencia a la penetración del testigo (tablas 11 y 12) superan hasta los 175 mm a los del campo recién terminado. Esto se debe a las tareas de laboreo realizadas en el mismo.

La presión en el área de contacto, tanto para el rodado delantero como para el trasero, fue superior también a las indicadas por Sánchez-Girón Renedo (2001), quien recomendó no superar 45 kPa (tabla 5, pág. 87), cuando el número de pasadas que se realizan sobre el terreno se encuentra entre 5 y 10, y mayor a los 50 kPa sugeridos por Alakukku (1996) para el tránsito de tractores en inadecuadas condiciones del suelo.

Los efectos de la compactación, producidos por el tránsito del tractor, llegaron a los horizontes subsuperficiales, aún con cargas en el eje inferiores a las indicadas por Håkansson y Danfors (1981).

La humedad presente en los horizontes B_1 y B_{2it} al momento de la realización del tránsito, unido a la textura de los mismos (28), arcillosa y arcillo-limosa respectivamente, pudieron haber favorecido que la compactación se produjese ante las sucesivas pasadas, en las labores realizadas, no solamente a nivel superficial, como sugieren Botta *et al.* (2002), sino también en estratos más profundos del perfil.

La reacción del suelo, ante el aumento de las labores y el uso en el campo en uso, determinó que los mayores incrementos en el parámetro resistencia a la penetración se produjeran, respecto del campo recién terminado, en los intervalos de 0 a 275 mm de profundidad (figura 2 y figura 3, page 201). Este resultado, no coincide con lo encontrado por Botta (2000) quien señala la situación inversa.

El tráfico de la maquinaria produjo resultados diversos. Solo hubo diferencias significativas respecto del testigo, hasta diferentes niveles de profundidad.

En el campo recién finalizado estas se presentaron hasta los 75 mm de profundidad (tabla 11, pág. 89) luego de esta y hasta los 150 mm de profundidad no se registró diferencias respecto del testigo.

Es probable que esto sucediera debido a la labor superficial de la maquinaria para la finalización del movimiento de suelo al terminar el campo.

Los efectos más notables del paso de la maquinaria y de los animales se produjo en el intervalo de 0 a 50 mm de profundidad (tabla 11, pág. 89 y figura 2, pág. 91) con picos incrementales de 150% a 750% para el campo en uso, respecto del campo recién terminado. Estos efectos disminuyen a medida que aumenta la profundidad, los incrementos medios fueron entre 8 y 20% (figura 3, pág. 91).

En los niveles de mayor profundidad, se produjo una inversión de los valores absolutos de resistencia a la penetración, mayores para el campo recién terminado en el intervalo de 300 a 450 mm de profundidad (tablas 12 y 13, pág. 89). Es posible que, luego de finalizadas las labores, el número de pasadas de los equipos reemplace al factor peso, en la responsabilidad de la compactación subsuperficial del suelo (7, 26).

Por otra parte, es probable, que el suelo del campo recién terminado (traficado muy recientemente) no haya podido recuperarse del impacto recibido por el elevado tráfico de la maquinaria y, debido a la baja resiliencia de las capas subsuperficiales del mismo y al corto tiempo transcurrido entre la finalización del campo y la medición de este parámetro no pudo revertirse la situación de alta compactación (11).

Otra posible explicación sería el hecho de que el trabajo realizado con las maquinarias empleadas para el movimiento de tierra, usualmente no supera los 20 cm iniciales, a efectos de no generar modificaciones texturales en superficie, que se producirían por la incorporación de horizontes subsuperficiales al trabajar a mayor profundidad.

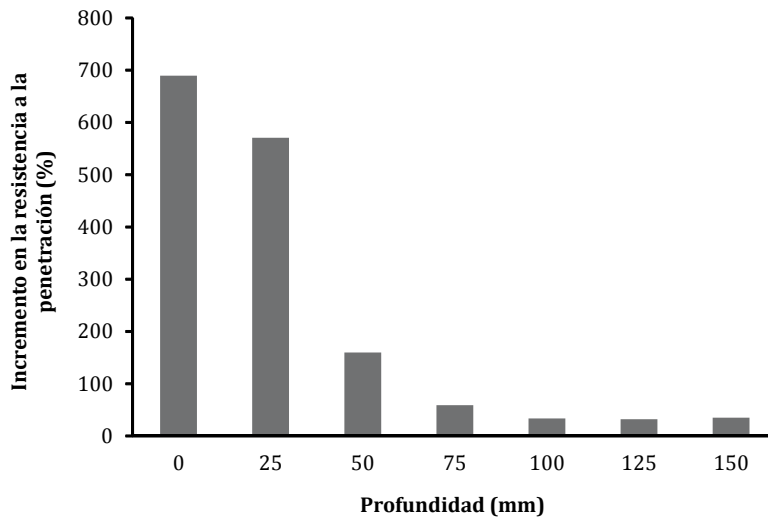


Figura 2. Incremento de la resistencia a la penetración del campo en uso con respecto al campo recién terminado en el intervalo de 0 a 150 mm de profundidad.

Figure 2. Penetration field resistance in the field in use vs. the just ended field in the 0 to 150 mm depth interval.

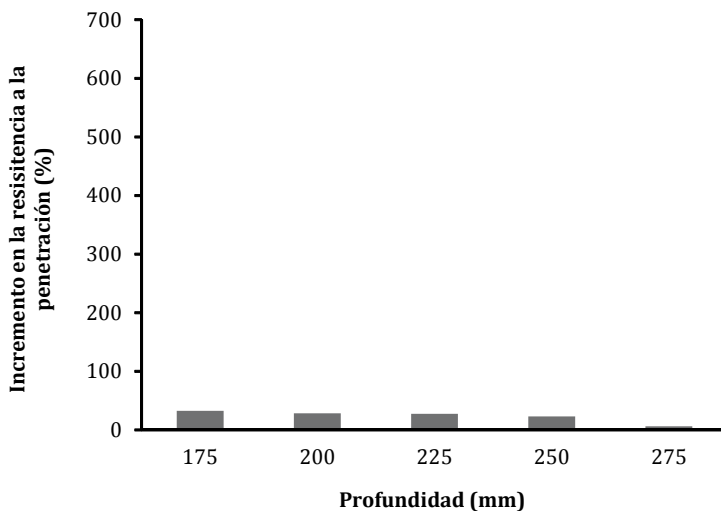


Figura 3. Incremento de la resistencia a la penetración del campo en uso con respecto al campo recién terminado en el intervalo de 175 a 275 mm de profundidad.

Figure 3. Penetration field resistance increases in the field in use vs. the just ended field in the 175 to 275 mm depth interval.

De tal forma la capa subsuperficial se transformaría en la base de apoyo de los equipos de trabajo y por tanto ser susceptible del efecto de compactación con mayor resistencia a la penetración, coincidente con los resultados expuestos.

Densidad aparente

La densidad aparente en el testigo siguió la misma tendencia que el parámetro RP, se tuvo registros elevados en la totalidad del perfil y superó, a nivel superficial, los valores del campo recién terminado. A nivel superficial, 0 - 150 mm (tabla 14), se alcanzó el valor de 1,45 Mg/m³, indicado como restrictivo para alcanzar una emergencia más rápida y completa en semillas de gramíneas (22).

En el nivel de 150 a 300 y 300 a 450 mm de profundidad (tabla 14), la densidad aparente, tanto en el campo recién terminado como en el campo en uso, superó al nivel crítico citado y el similar de 1,46 Mg/m³ mencionado por Vehimeyer y Hendrickson (1948) para el desarrollo radical de gramíneas y por lo informado por Daddow y Warrington (1984), para el umbral de crecimiento radical.

La homogeneidad en el estado mecánico del testigo, con un coeficiente de variación del 1,2%, podría indicar que los efectos del paso de la maquinaria durante la realización del campo de juego, afectan en el largo plazo a la totalidad de la superficie del suelo de los espacios deportivos estudiados.

En cuanto al parámetro densidad aparente, tanto el campo recién terminado como el campo en uso no se diferenciaron significativamente entre sí, pero sí se diferenciaron significativamente del testigo sin laboreo. Pareciera ser que este parámetro se comportó metodológicamente con menor sensibilidad para detectar las alteraciones producidas en el terreno por el tránsito de la maquinaria para movimiento del suelo, que la resistencia a la penetración. Esta mayor sensibilidad del valor de resistencia a la penetración para buscar una vinculación al incremento de la compactación, podría deberse a que los intervalos considerados en la medición son menores en el caso del penetrómetro usado (25 mm), que en el de la sonda gamma-métrica para medir la densidad aparente (50 mm).

Tabla 14. Valores medios de densidad aparente (Mg/m³) medidos para los tres tratamientos en el rango de 0 a 450 mm de profundidad.

Table 14. Mean values of bulk density (Mg/m³) measured for the three treatments in the 0 to 450 mm depth range.

Rango de Profundidad (mm)	0 - 150	150 - 300	300 - 450
Testigo SIN USO	1,45 a	1,35 a	1,43 a
Campo recién terminado	1,4 a	1,51 b	1,72 b
Campo en uso	1,53 b	1,72 c	1,82 b

Letras distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas ($P < 0,05$ Tuckey).

Different letters vertically denote significant differences ($P < 0.05$ Tuckey).

Porosidad total

En la tabla 15 se muestran valores de porosidad total del suelo, con diferencias significativas ($P < 0,05$), para los campos en uso y recién terminado, en todo el perfil del suelo bajo estudio, respecto del testigo sin laboreo. Los valores de este parámetro no fueron inferiores al 30%, valor citado por muchos autores, como perjudicial para el crecimiento de raíces de gramíneas y leguminosas.

Los valores de porosidad total, a nivel superficial, en el campo recién terminado, son mayores a los del suelo testigo. Esto es correcto, ya que una mayor desagregación de suelo se presenta en el campo recién terminado debido al reciente laboreo de la maquinaria para movimiento del suelo. Si se observa la misma tabla se puede corroborar que, en el campo en uso, la porosidad total es la menor de los tratamientos, esto se debe al pisoteo de los animales y a las labores de mantenimiento que requiere.

Como se observa en la tabla 15 el nivel superficial (0 - 150 mm) fue afectado por el movimiento y uso. Esto es importante, debido a la influencia de la porosidad total a nivel superficial del suelo, sobre el crecimiento de la raíz del vegetal. Coincide con Botta *et al.* (2006b), está basado en el hecho de que, a nivel superficial es donde

el crecimiento de la raíz y la captación de nutrientes para el crecimiento son más importantes. Estos resultados corroboran que, al pasar los tractores con distintas presiones de inflado, pueden provocar severos daños al suelo por la compactación superficial del mismo. A nivel subsuperficial, por debajo de los 150 mm, los cambios medios en la porosidad total del suelo son significativamente menores, porcentualmente, que a nivel superficial. Llama la atención que los efectos de la compactación, producidos por el tránsito del tractor, llegó a horizontes subsuperficiales, aún con cargas en el eje, inferiores a las indicadas por Håkansson y Danfors (1981), es decir, la compactación en este nivel de profundidad, se debería más al número de pasadas de los equipos que al peso de los mismos.

Materia orgánica

Con el objeto de evaluar los efectos de la sistematización en el tenor de materia orgánica del suelo, se tomaron muestras en testigo, campo "recién terminado" y en el campo "en uso". Los valores se detallan en la tabla 16 (pág. 94).

Para cada campo ("recién terminado" y "en uso") se observan datos obtenidos para ambos bordes y el centro del campo, además de los correspondientes al testigo.

Tabla 15. Valores medios de porosidad total del suelo (%) medidos para los tres tratamientos en el rango de 0 - 450 mm.

Table 15. Mean values of total soil porosity (%) measured for the three treatments in the 0 to 450 mm depth range.

Rango de Profundidad (mm)	0 - 150	150 - 300	300 - 450
Testigo SIN USO	45,2 a	50,9 a	46 a
Campo recién terminado	47,1 b	43 b	35 b
Campo en uso	42,2 b	35,4 b	31,3 b

Letras distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas ($P < 0,05$ Tuckey).

Different letters vertically denote significant differences ($P < 0.05$ Tuckey).

Tabla 16. Contenido de materia orgánica (%) para el campo recién terminado, el campo en uso y el testigo.**Table 16.** Organic matter content (%) for the just ended field, field in use and control test.

	Campo recién terminado	Campo en uso	Testigo
	Valores (%)	Valores (%)	Valor base
Borde	3,37 a	3,28 a	4,51 b
Centro	4,04 a	4,47 a	4,51 a
Borde	2,97 a	3,9 b	4,51 b
Media	3,46 a	3,88 ab	4,51 b

Letras distintas en sentido horizontal denotan diferencias significativas ($P < 0,05$ Tuckey).

Different letters horizontally denote significant differences ($P < 0.05$ Tuckey).

Si se comparan los valores del campo recién terminado y campo en uso con el testigo, se observa una disminución del contenido de materia orgánica. No obstante, esta disminución no es constante ya que en algunos casos no se presentan diferencias significativas.

En efecto, al realizar la distinción entre borde y centro del campo en su comparación con el testigo, no se aprecian tales diferencias entre las muestras tomadas en el centro respecto de las del control, mientras que sí ocurre en los bordes, a excepción de uno de ellos.

Esto podría ser explicado por el modo de operación del movimiento de tierra, que acorde con el proyecto, retira suelo de los bordes y los lleva hacia el centro del campo, reduciendo el espesor del horizonte superficial en los bordes.

La disminución del contenido de materia orgánica coincide con lo citado por Unger *et al.* (1990), quien observa efectos en la textura, contenido de materia orgánica y estabilidad de los agregados e indirectamente también con lo mencionado por Preve (1990) en cuanto a cambios en la fertilidad luego de la sistematización, con Juma (1993) en relación con los efectos sobre la estructura y actividad biológica y con Brye *et al.* (2003) quien también cita variación en la actividad biológica.

No obstante, las disminuciones observadas, estas son mínimas si se las compara con los cambios citados en apartados anteriores, tanto en la resistencia a la penetración como en la densidad aparente, que resultan con claridad, de mayor significación.

Por último, en promedio, siempre en comparación con el testigo, presenta más diferencia el campo recién terminado que el campo en uso.

Índice de esponjamiento/compactación

En forma estricta, el índice o factor de esponjamiento (Swelling Factor) (Geotechnical Design Manual USA, 2005), hace alusión al fenómeno de expansión que se produce en los minerales componentes del suelo al ser removido. Luego, al ser incorporado, se produce un acomodamiento de partículas y compactación (32, 38).

Cuando se efectúa el proyecto de sistematización o de movimiento de suelo se prevé un valor mayor en el volumen de desmonte o de corte respecto del de relleno o terraplén (34). El valor de compensación elegido debería comprender ambos índices, el de expansión o esponjamiento y el de contracción o compactación que luego le sucede.

De los datos de densidad aparente obtenidos (tabla 14, pág. 92), se observa que tanto en la situación de campo recién terminado, como en la de campo en uso, los valores superan con el testigo. Si se toma a este último como control, se muestra en la tabla 17 el incremento en densidad en relación con el testigo para los intervalos definidos. A excepción del valor obtenido en el campo recién terminado para el intervalo 0-150 mm por las razones que fueran expuestas (laboreo reciente del suelo), los restantes muestran aumentos que alcanzan casi el 30%. Esto acuerda con lo citado por Brye *et al.* (2003) en relación a que el movimiento de tierra produce incrementos en la densidad aparente. Chopra (1999) efectuó la estimación del factor de esponjamiento/compactación en suelos de Florida mediante análisis de penetrometría y densidad aparente, encontrando valores de 25% para el factor de esponjamiento y 15 a 20% para el factor de compactación.

La densidad aparente es afectada por el peso del suelo, incluida la porosidad y el volumen que ocupa.

Teniendo en cuenta por un lado los valores de porosidad obtenidos y por otro los de densidad aparente, es dable considerar que los cambios en esta última variable son debidos al cambio en volumen generado por la modificación (pérdida) de

estructura y disminución de la porosidad, que a su vez son también afectados como consecuencia de la compactación (13).

Entonces, el cambio en la densidad aparente del terreno sobre el cual se efectuó el movimiento de tierra en relación con el sitio control o testigo se considera aquí como valor del factor de esponjamiento/compactación, en acuerdo por lo citado en Geotechnical Design Manual USA (2005).

De tal forma, tanto el uso como la intensidad de tráfico, en la medida que son causa del proceso de compactación (7, 9, 26), son dos variables que deben ser tomadas en consideración como partícipes del índice de esponjamiento/compactación.

Consideraciones finales

En el sitio de ensayo se superó, a nivel superficial, el valor de 800 kPa, mencionado por Collis-George y Yoganathan (1985), como posible, en relación con afectar la emergencia de semillas.

A partir de los 250 mm de profundidad, se superó el valor de 1500 kPa, generalmente indicado como capaz de producir una disminución en la tasa de crecimiento radical (14).

Tabla 17. Incrementos medios de densidad aparente (%) respecto del testigo en el rango de 0 a 450 mm de profundidad.

Table 17. Mean increments of bulk density (%) in relation to the control test at the 0 to 450 mm depth range.

Rango de profundidad (mm)	0 - 150	150 - 300	300 - 450
Campo recién terminado	-3,45	11,85	20,28
Campo en uso	5,52	27,40	27,30

En acuerdo con Nasr y Seles (1995), las condiciones físicas del suelo, generadas como consecuencia del tráfico y movimiento del suelo, podrían ocasionar, una emergencia más lenta y menos completa de las semillas de gramíneas comúnmente utilizadas en estos sitios y con los fines establecidos, del mismo modo que una limitación al crecimiento en los casos en que se realice implantación de estolones.

Según los resultados obtenidos, el número de pasadas tiene una relación muy marcada con la profundidad a la cual se manifiestan los efectos del tránsito reiterado de la maquinaria (7, 9, 11, 26). Debido al bajo peso de los equipos utilizados en los sitios de ensayo, el causante de la compactación subsuperficial del suelo pasa a ser el número de pasadas (tráfico) y no el peso de los mismos. Estos resultados proporcionan evidencia para refutar la hipótesis 3.

La tendencia que siguieron los valores de resistencia a la penetración, la densidad aparente y la porosidad total del suelo, luego del movimiento del suelo (tráfico) y su uso con fines deportivos (pisoteo), fueron bastante similares. Al mismo tiempo los valores de dichos parámetros, generados por los tratamientos de movimiento de suelos, estuvieron siempre por encima de los recomendados para realizar un manejo adecuado del suelo en el tiempo. Esto significa que existe evidencia válida para verificar la hipótesis 2.

En relación con el contenido de materia orgánica, se produjo una disminución del contenido, tanto en el campo recién terminado como en el campo en uso. La disminución en contenido de materia orgánica es menor a los cambios que se producen tanto en densidad aparente como en porosidad. Esto significa que existe evidencia válida para verificar la hipótesis 1.

En lo concerniente al factor de esponjamiento/compactación, para los dos sitios de ensayo se obtienen valores que alcanzan y superan el 25%. Esto es importante, puesto que son valores obtenidos para condiciones reales de trabajo de campo y en suelos de Buenos Aires. Estos superan los expresados por Belçaguy y Levin (1965) García Piecade (1973), Peña McCasquill (1995) y se acercan a los encontrados experimentalmente por Rodríguez Plaza (2000).

Asimismo, si bien el estado mecánico del suelo se constituye en una de las variables de relevancia en la incidencia en este factor, el mismo puede ser modificado por variables tales como la intensidad de tráfico y peso de la maquinaria por lo que existe evidencia válida para verificar la hipótesis 4.

CONCLUSIONES

Dentro de los límites del presente trabajo se puede concluir lo siguiente:

El contenido de materia orgánica en suelos sistematizados disminuye respecto del suelo original. La modificación producida en este parámetro es menor a la ocurrida en los parámetros físicos, tales como la resistencia a la penetración, la densidad aparente y la porosidad.

Para suelos similares en cuanto a características y condición mecánica, sobre el índice o factor de esponjamiento/compactación tienen influencia tanto la intensidad de tránsito de las maquinarias como el peso de las mismas.

Para los tipos de suelo analizados y en las condiciones del ensayo se alcanzaron índices de esponjamiento/compactación mayores al 25%.

Los valores encontrados no responden a ensayos de laboratorio sino a una situación de campo real, sobre la base de datos obtenidos

sobre sistematizaciones de uso generalizado en la conformación de campos de polo.

El pasaje de la maquinaria produce compactación y esta alcanza los niveles subsuperficiales. La compactación a nivel superficial se da en mayor medida en el campo en uso, atribuyéndose al uso de las maquinarias de mantenimiento y uso para el juego (caballos).

La compactación producida por el uso de los campos de polo construidos,

disminuye a medida que aumenta la profundidad, producida, en mayor medida, más al pasaje de la maquinaria que al peso de la misma.

El parámetro densidad aparente resultó menos sensible para medir la compactación del suelo que la resistencia a la penetración.

Tanto el parámetro densidad aparente como la porosidad se vieron más afectados subsuperficialmente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alakuku, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil & Tillage Research*. 37: 211-222.
2. Bachmann, J.; Contreras, K.; Hartge, K. H.; Mac Donald, R. 2006. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. *Soil and Tillage Research*. Vol. 87: 112-118.
3. Balbuena, R.; Aragon, A.; Mac Donagh, P.; Claverie, J.; Terminiello, A. 1995. Efectos de tres sistemas de preparación del suelo en la resistencia a la penetración y la densidad de un suelo. XXIV Congreso Brasileiro de Ingeniería Agrícola. Viçosa. Brasil.
4. Belçaguy, P. J. M.; Levin, E. 1965. El acondicionamiento de terrenos con fines de riego, desagüe y conservación. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Buenos Aires. 83 p.
5. Botta, G. 2000. Distribución subsuperficial de la compactación inducida por el tráfico agrícola. Tesis Doctoral, Dpto. de Tecnología, Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina. 201 p.
6. Botta, G.; Jorajuria, D.; Draghi, L. 1998. Predicción del esfuerzo de rodadura en un tractor agrícola. En: Ingeniería Agrícola y Mecanización en el Marco Latinoamericano. Editores Responsables: Balbuena, Benez, Jorajuría. (Ex aequo) Editorial de la UNLP, La Plata, Argentina. 612 p.
7. Botta, G.; Jorajuria, D.; Draghi, L. 2002. Influence of the axle load, tyre size and configuration on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics*. Elsevier. 39/1. 47-54.
8. Botta, G.; Jorajuria, D.; Balbuena, R.; Rosatto, H. 2004. Mechanical behavior of an agricultural soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil and Tillage Research*. 78/1. Elsevier. 53-58.
9. Botta, G.; Jorajuria, D.; Rosatto, H.; Ferrero, C. 2006a. Light tractor traffic frequency on soil in the rolling Pampa region of Argentina. *Soil and tillage Research* 2006b. Ed. Elsevier. 86. 9-14.
10. Botta, G.; Balbuena, R.; Ressia, M.; Jorajuria, D.; Rosatto, H.; Ferrero, C. 2006. Deep tillage and traffic effect on subsoil compaction and sunflower yields. *Soil and tillage Research*. 2006. Ed. Elsevier. 91: 165-173.
11. Botta, G.; Pozzolo, O.; Bomben, M.; Rosatto, H.; Rivero, D.; Ressia, M.; Tourn, M.; Soza, E.; Vázquez, J. 2007. Traffic alternatives in harvest of soybean (*Glycine max* L.): effect on yields and soil under direct sowing system. *Soil and Tillage Research*. Elsevier. 96: 145-154.
12. Brye, K.; Slaton, N. A.; Savin, M. C.; Norman, R. J.; Miller, D. M. 2003. Short-term effects of land leveling on soil physical properties and microbial biomass. *Soil Science society of American Journal*. Setember 2003. 67(5): 1405-1417.
13. Brye, K.; Slaton, N. A.; Norman, R. J. 2005. Penetration resistance as affected by shallow cut land leveling and cropping. *Soil and Tillage Research*, Marzo 2005. 81(1): 1-13.

14. Carter, M. 1988. Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening tillage studies. *Canadian Journal of Soil Science* 1988. 68(4): 657-668.
15. Chopra, M. B. 1999. Investigation of shrink and swell factors for soils used in Florida Department of Transportation construction. Summary of final report WPI 0510796 . University of Central Florida.
16. Cisneros, J. M.; Cholaky, C.; Bricchi, E.; Giayetto, O.; Cantero, J. 1997. Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba. *Revista de la UNRC*. 17(1): 13-22.
17. Collis-George, N.; Yoganathan, P. 1985. The effect of soil strength on germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.) II. High shear strength conditions. *Aust. J. Soil Research* 1985. 23: 589-601.
18. Daddow, R.; Warrington, G. 1984. Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture. USDA - F5, Watershed systems development group REP. WSD6-TN-00005, USDA- FS, Fort Collins. CO. 203 p.
19. Domínguez, J.; Ressia, J.; Jorajuría, D.; Balbuena, R.; Mendivil, G. 2000. Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. *Avances en Ingeniería Agrícola*. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola. 110-115.
20. Dwyer, M.; Febo, G. 1987. *Agricultural Tyre Handbook*. Institute of Agricultural Engineering. West Road, Silsoe, Bedford. UK. 32 p.
21. García, G. J. e G.C.R. Piedade. *Topografía aplicada as Ciencias Agrarias*.1989. Nobel. Brasil. 256 p.
22. Hadas, A.; Stibbe, E. Soil crusting and emergence of wheat seedlings. *Agron. Journal*. 1977. 69: 547-550.
23. Håkansson, I.; Danfors, B. 1981. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. 7th. Int. Conf. of ISTVS. ISTVS Hanover, NH, USA. 10 p.
24. Hidalgo, R.; Botta, G. F.; Tolón Becerra, A.; Pozzolo, O. R.; Domínguez, J. F.; Serafini, E. 2014. Rastrojo de arroz (*Oryza sativa* L.) en sistemas de siembra directa: alternativas de manejo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(2): 163-175.
25. Jorajuría, D.; Draghi, L.; Aragon, A. 1997. The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of Lolium/Trifolium grassland. *Soil & Tillage Research*. 41: 1-12.
26. Jorajuría D. 2001. Distribución vertical de la compactación del suelo bajo tráfico vehicular agrícola. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España. 135 p.
27. Juma, N. G. 1993. Interrelationships between soil structure, textura, soil biota, soil organic matter and crop production. *Geoderma*. Vol. 57: 3-30.
28. Meek, P. 1996. Effects of skidder traffic on two types of forest soils. Technical report Forest Eng. Res. Inst. of Canada. N° TR117. 12 p.
29. Nasr, H. M.; Seles, F. 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. *Soil & Tillage Research*. 34: 61-76.
30. Peng, X. H.; Horn, R.; Zhang, B.; Zhao, Q. G. 2004. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted Ultisols. *Soil and Tillage Research*. 76(2): 125-137.
31. Peña McCaskill, L. 1995. *Apuntes de Conservación de Suelos*. Universidad de Concepción. Chile. 167 p.
32. Pratt, D. J. 2004. *Fundamentals of Construction Estimating*. 2nd. Edition. Thomson Delmar Learning. USA.
33. Preve, R. E.; Martens, D. C. 1990. Potential effect of land leveling on soil fertility in a Brazilian rice soil. *Plant and Soil*. 121(1): 148-150.
34. Rodríguez Plaza, L. 2000. Modelo matemático de nivelación de parcelas agrícolas en zonas regadías. *UNC*. 109 p.

35. Rosatto, H. G.; Laureda, D. A.; Villalba, G. A.; Botta, G. F.; Rodríguez Plaza, L.; Atencio, A.; Caso, C.; Gamboa, P.; Meyer, M. 2009. Soil land leveling: project execution efficiency in complex soil. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 41(1): 2009. 85-92.
36. Sánchez-Girón Renedo, V.; Andreu, E.; Herranz, J. L. 2001. Stress relaxation of five different soil samples when uniaxially compacted at different water contents. *Soil and Tillage Research.* 62: 85-99.
37. Seino, M. 1999. Studies on land consolidation of large sized paddy fields. 2. Work and management on land leveling of large sized paddy fields. *Bulletin of the Yamagata Prefectural Agricultural Experiment Station. Japan.* 67-84.
38. Servicio de Conservación de Suelos. USDA. Nivelación de Terrenos. Diana. México. 1972.
39. Soil Cut Design. *Geotechnical Design Manual M 46-03. USA. September 2005.*
40. Swan, J.; Moncrief, J.; Voorhees, W. 1987. Soil compaction. Causes, effects, and control. AG-BU-3115. Minnesota Extension Service. University of Minnesota. USA.
41. Threadgill, E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE.* 25: 859-863 and 867.
42. Unger, P. W.; Fulton, L. J.; Jones, O. R. 1990. Land-leveling effects on soil texture, organic matter content, and aggregate stability. *Journal of Soil & Water Conservation.* 45(3): 412-415.
43. Van den Akker, J. 1998. Prevention of subsoil compaction by defining a maximum wheel load bearing capacity. En: *Soil compaction and compression in relation to sugar beet production.* Editors: Märlander, B.; Tijink, F. J.; Hoffman, C.; Beckers, R. 1: 55-66.
44. Veihmeyer, J.; Hendrickson, A. 1948. Soil density and root penetration. *Soil Science.* 65: 487-493.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue llevado a cabo bajo los proyectos: Modelo de distribución territorial y sectorial de valores objetivos, para la evaluación de los progresos en la sostenibilidad mediante indicadores. Referencia: CTM2013-41750-P. Financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España. Proyecto T088, Departamento de Tecnología Universidad Nacional de Luján y Proyecto UBACyT, programación Científica 2014-2017. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, Referencia: 2012013010067BA.

Modelo de ahusamiento para *Eucalyptus nitens*, en suelos de cenizas volcánicas de la región de La Araucanía (Chile)

Taper model for *Eucalyptus nitens*, in volcanic ash soils of the region of The Araucanía (Chile)

Andrés Rodríguez-Toro ¹, Rafael Rubilar-Pons ^{1,2}, Fernando Muñoz-Sáez ¹, Eduardo Cártes-Rodríguez ¹, Eduardo Acuña-Carmona ¹, Jorge Cancino-Cancino ¹

Originales: *Recepción*: 24/06/2015 - *Aceptación*: 29/09/2015

RESUMEN

Se presenta un modelo de ahusamiento para *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. Este es un modelo no lineal que fue ajustado con datos de 60 árboles con edades entre los 16 y 21 años, diámetros normales entre 11,5 y 52,0 cm, y con alturas totales entre 12,27 y 47,49 m. Cosechados en 6 rodales localizados en 3 comunas de la región de La Araucanía (Chile); en suelos de cenizas volcánicas. El modelo se contrastó con los existentes en la literatura, obteniendo la mejor precisión, el menor sesgo en cada fracción de altura, y la mayor eficiencia predictiva con un comportamiento gráfico flexible y estable en toda la longitud del fuste. La función de volumen obtenida de la integración numérica del modelo de ahusamiento, predice más de 99% del volumen del fuste sin corteza estimado mediante la fórmula de Smalian.

Palabras clave

volumen • biomasa • perfil del fuste • gestión forestal • optimización de la madera

1 Universidad de Concepción, Fac. de Cs. Forestales. Victoria 631. Concepción, Chile. jrodriguez@udec.cl

2 Cooperativa de Productividad Forestal. Universidad de Concepción, Chile.

ABSTRACT

Generalized taper model is presented for *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. A non-linear model was fitted to data from 60 trees aged between 16 and 21 years, normal diameters between 11.5 and 52.0 cm, and with total heights between 47.49 and 12.27 m. Harvested in 6 stands located in 3 communes of The Araucania region (Chile), in volcanic ash soils. The model contract with existing models in the literature, obtaining better accuracy, the least bias in each fraction high, and the higher predictive efficiency with a flexible graphical behavior and stable over the entire length of the stem. The volume function obtained from the numerical integration of the taper model predicts over 99% of the variation in stem volume without bark estimated by formula Smalian.

Keywords

volume • biomass • taper profile • forest management • wood optimization

INTRODUCCIÓN

El mercado de las maderas presenta una amplia variedad de productos forestales: madera para aserrío, pulpa, energía, entre otros (42).

En Chile en las décadas recientes se han establecido plantaciones de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden (30), que dada la adaptación a un amplio rango de condiciones ambientales, rápido crecimiento y alta productividad de la especie (32), permiten cubrir la demanda en el sector forestal de nuevos productos de la madera, como a su vez, mayores retornos económicos que lo obtenido en otras especies de *Eucalyptus* (24).

Las prácticas intensivas de manejo silvícola y la mayor diversidad del uso de la madera actuales (26), requieren de funciones de alta consistencia y versatilidad para la estimación de volúmenes comerciales (33), que permitan un mejor apoyo a la toma de decisiones en la gestión forestal (11, 23, 34).

Las deficiencias más frecuentes en la cubicación se relacionan con el uso de funciones de volumen de razón (10), como se presenta en el caso del *E. nitens* (12).

En ese escenario, los modelos de ahusamiento continúan siendo una herramienta indispensable y de gran utilidad, tanto para efecto de la estimación puntual del volumen entre cualquier par de alturas (10, 45), como también en los procesos de simulación para la optimización de la madera en aserrío (15, 37).

La tasa de disminución del diámetro del fuste varía a medida que se avanza en altura en el árbol (14).

El fuste adquiere diferentes formas según la especie, pero en general se trata de un neiloide en la región basal, formas cilíndricas o troncos de paraboloides en la zona de mayor aprovechamiento comercial y termina en formas cónicas o parabólicas en el extremo superior del árbol (27, 43). Así, la mayor dificultad está en la obtención de estimaciones confiables del diámetro en la zona basal del fuste y en el extremo superior del mismo.

Además de la especie, el perfil del fuste podría ser determinado por la productividad del sitio (22), la posición sociológica del individuo dentro del rodal y por actividades de manejo silvicultural (20).

A lo largo del tiempo, numerosos autores han tratado de representar el perfil del fuste mediante diversos modelos matemáticos, basados ya sea en fundamentos biológicos o de origen netamente empírico.

La literatura actual incluye modelos de ahusamiento lineales (2, 3, 17, 18, 35, 36), no lineales (6, 7, 40, 41), segmentados (4, 21, 29, 48) y trigonométricos (44). Esa gama incluye desde modelos diferenciables e integrables de manera indeterminada, hasta modelos que requieren de métodos numéricos para la obtención del volumen del fuste.

La gran variedad de funciones de ahusamiento en la actualidad, es evidencia de las deficiencias en los modelos propuestos y presenta la idealización del perfil del fuste como un desafío que aún permanece en pie (13).

Un modelo de ahusamiento debiera tener los atributos siguientes: i) ser diferenciable en toda la longitud del fuste, ii) no generar oscilaciones alrededor de la línea de tendencia central, iii) que estime de manera adecuada no solo el diámetro de la sección comercial del fuste, sino también el diámetro del tocón para predecir el diámetro normal y el volumen del árbol para la reconstrucción de las variables de estado del rodal en un escenario postcosecha (9, 19, 28) y el diámetro del fuste por encima del límite de utilización comercial para aserrío (7, 45) y, iv) la capacidad del modelo de ahusamiento para predecir la altura del fuste, a la que se halla un diámetro límite de utilización para fines comerciales (45). De esta manera el objetivo de este artículo es desarrollar un modelo de ahusamiento para *E. nitens*, que satisfaga los criterios mencionados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la región macro climática Central de Chile, región que posee una precipitación media anual que varía entre 654 y 1949 mm, con una temperatura mínima en invierno de hasta 1,21°C y máxima en verano de 27,49°C (5); posee suficiente pluviometría para permitir el desarrollo forestal continuo, con un período estival de 3 a 7 meses dependiendo de la localidad (39).

La muestra de árboles se recopiló en rodales de *E. nitens*, localizados en 3 comunas de la región de La Araucanía, sobre suelos de cenizas volcánicas. Los rodales muestreados en este tipo de suelo estaban localizados en las comunas de Collipulli, Ercilla y Victoria.

Los suelos de cenizas volcánicas se formaron a partir de deposiciones recientes de material de origen volcánico, sobre sustratos fluvioglaciales o materiales fluviales, difícilmente detectables por la profundidad en la que se encuentran.

Son suelos poco evolucionados, profundos a muy profundos, de buen drenaje, textura media franca o franca limosa superficialmente y franco limosa en el perfil, de buena estructura y arraigamiento, con porosidad y sin gravas los primeros 160 cm, permeabilidad moderada y escurrimiento superficial moderado en pendientes de hasta un 3%.

Pertenecen a la serie de suelos denominada localmente como Santa Bárbara, con topografía de lomas y cerros, con ocurrencia menos frecuente de suelos ligeramente ondulados con 2 a 5% de pendiente.

Selección de la muestra de rodales

En el estudio se consideró un total de 6 predios. De cada predio se seleccionó un rodal de *E. nitens* en edad de cosecha;

cuyos rodales fueron seleccionados en función del volumen acumulado (tabla 1). Se obtuvo una muestra de 10 árboles en cada rodal, abarcando todo el espectro diamétrico registrado en los inventarios pre-cosecha. En total, la muestra quedó constituida por 60 árboles.

Muestreo destructivo de árboles

A cada árbol en pie, se le midió y marcó el diámetro normal a la altura del pecho (*dap*).

Una vez volteado el árbol se midió la altura total (*ht*) y se marcó el fuste a partir de la altura del *dap* hasta alcanzar el diámetro límite de utilización (*dlu*) para aserrío y pulpa de 8 cm, de ahí en adelante se marcó el fuste cada metro.

Luego se extrajo una rodaja de la base del árbol (tocón), otra a la altura del *dap* y posteriormente cada 2,44 m (para facilitar el aprovechamiento comercial de las trozas resultantes), hasta alcanzar

la altura del *dlu*; a partir de esta altura, se continuó extrayendo rodajas cada metro hasta un diámetro de 2,54 cm.

En laboratorio a cada rodaja se le determinó su diámetro promedio sin corteza (*d*) y, a partir de este, se calculó el volumen sin corteza de cada sección del fuste, definida entre cada par de rodajas sucesivas, utilizando la fórmula de Smalian.

$$V = L \cdot \frac{A_s + A_i}{2}$$

donde:

V = es el volumen sin corteza de cada sección del fuste (m³)

L = es la longitud de la sección (m)

A_s, *A_i* = áreas superior e inferior de cada sección (m²).

Tabla 1. Caracterización dasométrica de los rodales y de los árboles muestreados, en suelos de cenizas volcánicas.

Table 1. Dasometric characterization of stands and trees sampled, in volcanic ash soils.

Predio	Edad	N	G	Diámetro normal (cm)		
	años	Arb ha ⁻¹	m ² ha ⁻¹	Min.	Max.	CV %
La Aurora	19	870	57,30	14,0	48,0	31,63
Aguas Buenas	21	1028	62,60	12,0	44,0	30,09
Chile Nuevo	19	1173	69,77	11,5	44,5	31,31
Tranquenanco	16	1171	66,00	13,0	47,5	31,57
Rio Colo	19	1150	71,70	13,5	41,0	30,17
Sara Malleco	20	1317	75,90	11,5	52,0	36,65

Predio	Altura total (m)			IS		V	N° de muestras	
	Min.	Max.	CV %	Dom.	m	m ³ ha ⁻¹	Ajuste	Validar
La Aurora	24,40	46,51	14,49	45,50	27,73	786,2	155	37
Aguas Buenas	12,27	46,12	21,49	45,89	25,68	866,6	145	38
Chile Nuevo	19,43	44,35	19,74	43,46	26,12	939,9	139	36
Tranquenanco	24,36	46,93	16,28	42,74	29,69	936,9	144	37
Rio Colo	23,94	40,37	13,29	39,14	22,86	1002,3	140	35
Sara Malleco	17,18	47,49	21,09	46,11	26,99	1080,2	140	33
TOTAL							863	216

Donde: *N*, es la densidad de plantación (arb ha⁻¹); *G*, es el área basal (m² ha⁻¹); *CV*, es el coeficiente de variación; *IS*, índice de sitio a una edad de referencia de 10 años (31); *V*, es el volumen (m³ ha⁻¹).

Where: *N*, is the density of planting (arb ha⁻¹); *G*, is the basal area (m² ha⁻¹); *CV*, is the coefficient of variation; *IS*, is the site index reference age 10 years (31); *V*, is the volume (m³ ha⁻¹).

El volumen total de cada árbol para el proceso posterior de validación, se determinó a partir de la sumatoria de los volúmenes de las secciones respectivas de un mismo individuo; considerando para ello la cubicación por encima del *dlu* para aserrío y pulpa, para una correcta determinación del volumen total.

Modelación del perfil del fuste

En primer término, se elaboró modelos empíricos en función de medidas referentes al árbol. Se buscó que el modelo elegido presentase continuidad a lo largo del fuste y que pudiese reflejar las dimensiones del diámetro en toda su extensión (incluida la sección basal y el extremo superior del fuste). El ajuste del modelo, se realizó por medio del procedimiento NLIN (38).

$$Y = \frac{X}{b_0 + b_1 \cdot X + b_2 \cdot X^2 + b_3 \cdot X^3} \quad (I)$$

$$\text{Con } Y = \frac{d^2}{dap^2}; X = \frac{h_t - h}{h_t - 1,3}$$

donde:

d = diámetro sin corteza (cm), de la rodaja obtenida a la altura *h*, (m)

dap = diámetro normal a la altura del pecho (cm)

h_t = altura total del árbol (m)

b₀, b₁, b₂, b₃ = parámetros del modelo.

A partir de la expresión lineal del modelo de ahusamiento propuesto y, representado luego de manera algebraica de la misma forma que la ecuación de Tartaglia-Cardano (16), se puede obtener cualquier altura en función de su respectivo diámetro a través de la siguiente transformación de variables:

$$\text{Con } P = -\frac{1}{3} \cdot b_2^2 + (b_1 - \frac{dap^2}{d^2}) \cdot b_3 \wedge Q = b_0 \cdot b_3^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{dap^2}{d^2} - b_1 \right) \cdot b_2 \cdot b_3 + \frac{2}{27} b_2^3$$

$$h = h_t - \left(\frac{1}{b_3} \cdot \left[\sqrt[3]{-\frac{Q}{2} + \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{Q}{2} - \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3}} \right] - \frac{b_2}{3 \cdot b_3} \right) \cdot (h_t - 1,3)$$

donde:

h = altura (m) en el fuste correspondiente a la rodaja de diámetro *d* (cm) sin corteza

dap = diámetro normal (cm) a 1,30 m

ht = altura total del árbol (m)

b₀, b₁, b₂ y b₃ = parámetros obtenidos del ajuste del modelo I

P y Q = transformaciones de la representación lineal del modelo I, para hacer uso de la ecuación de Tartaglia-Cardano (16).

Comparación entre modelos de ahusamiento

Para comparar el modelo de ahusamiento I, con los diversos modelos existentes en la literatura que presentasen la misma variable respuesta

$$Y = \frac{d^2}{dap^2}$$

pero con diferente número de parámetros (tabla 2, pág. 107), se empleó el criterio de información de Akaike (AIC) (1).

Para la evaluación de la precisión del ajuste del modelo de ahusamiento, se utilizó la raíz del error cuadrático medio (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n-p}}$$

Y también, un indicador de la eficiencia predictiva del modelo (Eficiencia):

$$Eficiencia = \left[1 - \frac{\sum_1^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_1^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \right] \cdot 100\%$$

donde:

SSE = suma de los cuadrados del error
 n = número de observaciones

p = número de parámetros en el modelo

y_i = valor observado

\hat{y}_i = valor estimado por el modelo de ahusamiento

\bar{y}_i = media de los valores observados.

Se preseleccionó para análisis comparativo en el presente estudio, solo aquellos modelos de ahusamiento que presentasen la mejor precisión, el menor sesgo, la convergencia de la totalidad de los parámetros y el mejor comportamiento gráfico del modelo.

A excepción del modelo de ahusamiento de Bruce *et al.* (3) (tabla 2, pág. 107; modelo XI), el cual se incorporó para efecto comparativo con el modelo propuesto, debido al uso para la idealización del perfil del fuste, en plantaciones de *E. nitens* en Chile (12).

Se comparó las diferencias significativas entre los modelos de ahusamiento por medio del error absoluto medio (MAE) estimado a diferentes fracciones de altura en el fuste; a través de una prueba de rangos múltiples Tukey LSD (95% nivel de confianza).

$$MAE = \frac{\sum_1^n |y_i - \hat{y}_i|}{n}$$

donde:

y_i = valor observado

\hat{y}_i = valor estimado por el modelo de ahusamiento

n = número de observaciones

Cuantificación del volumen a partir del modelo de ahusamiento

El modelo de ahusamiento I se integró para la estimación del volumen a través de métodos numéricos utilizando el procedimiento IML (38). Para la cuantificación del volumen solo se consideró el modelo de ahusamiento I desarrollado en el presente escrito.

El volumen estimado se contrastó con el volumen determinado por la fórmula de Smalian, a través de una validación cruzada entre el valor estimado y observado, haciendo uso de una regresión lineal simple. Previamente se había seleccionado un 75% de las muestras para el ajuste y, un 25% de las muestras para la validación; para garantizar la independencia de los mismos (8).

Tabla 2. Modelos de ahusamiento: lineales, no lineales, segmentados, y trigonométricos.

Table 2. Models taper: linear, nonlinear, segmented, and trigonometric.

Modelo	Autor	Nº
$Y = b_1.(T - 1) + b_2.(T^2 - 1)$	Kozak <i>et al.</i> (17)	[II]
$Y = b_1.Z^{(b_2)}$	Demaerschalk (7)	[III]
$Y = b_1.X + b_2.X^2 + b_3.X^3 + b_4.X^4 + b_5.X^5$	Lowell (18)	[IV]
$Y = b_0.\left(\frac{h}{1,3}\right)^{2-(b_1+b_2.T+b_3.T^2)}.X$	Sharma y Zhang (41)	[V]
$Y = b_1.(T - 1) + b_2.(T^2 - 1) + (b_3 - b_2).(\alpha_2 - T)^2.I$ $T \leq \alpha \rightarrow I = 1; T > \alpha \rightarrow I = 0$	Max y Burkhart (21)	[VI]
$Y = b_1.(T - 1) + b_2.(T^2 - 1) + b_3.(\alpha_1 - T)^2.I_1 - b_2(\alpha_2 - T)^2.I_2$ $T \leq \alpha_1 \rightarrow I_1 = 1; T > \alpha_1 \rightarrow I_1 = 0$ $T \leq \alpha_2 \rightarrow I_2 = 1; T > \alpha_2 \rightarrow I_2 = 0$	Max y Burkhart (21)	[VII]
$Y = b_1.Z + b_2.Z^2 + b_3.(Z - \alpha_1).I_1 + b_4.(Z - \alpha_2).I_2$ $Z < \alpha_1 \rightarrow I_1 = 0; Z \geq \alpha_1 \rightarrow I_1 = 1$ $Z < \alpha_2 \rightarrow I_2 = 0; Z \geq \alpha_2 \rightarrow I_2 = 1$	Valenti y Cao (48)	[VIII]
$Y = Z.(b_1.Z + b_2.Z^2) + (Z - \alpha)^2.(b_3 + b_4.(Z - \alpha_2)).I$ $Z \leq \alpha \rightarrow I = 0; Z > \alpha \rightarrow I = 1$	Parresol <i>et al.</i> (29)	[IX]
$Y = b_1.(T - 1) + b_2.\sin(2\pi.T) + b_3.\cot\left(\frac{\pi}{2}.T\right)$	Thomas y Parresol (44)	[X]
$Y = b_0.X^2 + b_1.(X^{1.5} - X^3).dap + b_2.(X^{1.5} - X^3).h_t$ $+ b_3.(X^{1.5} - X^{32}).h_t.dap + b_4.(X^{1.5} - X^{32}).h_t^{1.5} + b_5.(X^{1.5} - X^{40}).h_t^2$	Bruce <i>et al.</i> (4)	[XI]

Con

$$Y = \frac{d^2}{dap^2}; T = \frac{h}{h_t}; X = \frac{h_t - h}{h_t - 1,3}; Z = \frac{h_t - h}{h_t}$$

donde:

d = diámetro sin corteza (cm) de la rodaja obtenida a la altura h (m).

dap = diámetro normal a la altura del pecho (cm).

h_t = altura total del árbol (m).

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, \alpha, \alpha_1, \alpha_2$ = parámetros del modelo.

ln = logaritmo natural.

e = número de Euler (2,71828).

With

$$Y = \frac{d^2}{dap^2}; T = \frac{h}{h_t}; X = \frac{h_t - h}{h_t - 1,3}; Z = \frac{h_t - h}{h_t}$$

where:

d = diameter under bark (cm) of the shield obtained height h (m).

dap = normal diameter at breast height (cm).

ht = total tree height (m).

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, \alpha, \alpha_1, \alpha_2$ = model parameters.

ln = natural logarithm.

e = Euler number (2.71828).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación entre modelos de ahusamiento

Los modelos de ahusamiento convergieron en la totalidad de sus parámetros de manera significativa ($P < 0,05$) (tabla 3), a excepción del parámetro b_3 del modelo de Bruce *et al.* (3) modelo XI.

La precisión del ajuste de los modelos de ahusamiento evaluado a través de la raíz

del error cuadrático medio (RMSE), fluctuó entre 0,07778 y 0,09539 (tabla 4), y el error absoluto medio (MAE) entre 0,0046 en la zona del ápice y 0,1472 en la zona basal del fuste (tabla 5, pág. 109). De donde los modelos con mayor eficiencia predictiva, fueron el modelo XI de Bruce *et al.* (3) y el modelo I, con eficiencias de 93,83 y 93,26%, respectivamente, siendo a la vez quienes presentaron el menor AIC y la menor RMSE.

Tabla 3. Parámetros de los modelos de ahusamiento, sobre suelos de cenizas volcánicas.

Table 3. Parameters taper models, on volcanic ash soils.

Mod.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	α	α_1	α_2
I	5,3807*	-16,7702*	23,9813*	-11,4723*					
II		-1,5978*	0,6579*						
III		0,9301*	1,5919*						
IV		0,5064*	-2,9276*	14,5524*	-21,3451*	10,1142*			
V	0,8436*	-0,125*	0,3269*	-0,5951*					
VI		-1,3136*	0,4584*	149,6*			0,0458*		
VII		-2,092*	0,9411*	107,6*				0,0578*	0,6101*
VIII		-0,1465*	2,7303*	-1,2882*	-1,5197*			0,2793*	0,5631*
IX		1,8533*	-1,111*	-1112,8*	412*		0,9003*		
X		-0,7014*	0,053*	0,00344*					
XI	0,8409*	-0,0181*	0,0204*	n,s,	-0,00444*	-0,00007*			

donde: $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, \alpha, \alpha_1, \alpha_2$: parámetros del modelo; * $P < 0,05$; n.s.: no significativo.

where: $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, \alpha, \alpha_1, \alpha_2$: model parameters; * $P < 0,05$; n.s.: not significant.

Tabla 4. Estadígrafos de los modelos de ahusamiento, sobre suelos de cenizas volcánicas.

Table 4. Statistics taper models, on volcanic ash soils.

Mod.	Método de Convergencia	n	AIC	RMSE	Eficiencia
					%
I	Marquardt	863	-4329	0,08124	93,26
II	Newton	863	-4070	0,09450	90,86
III	Newton	863	-4054	0,09539	90,69
IV	Newton	863	-4307	0,08222	93,10
V	Newton	863	-4326	0,08136	93,24
VI	Newton	863	-4254	0,08479	92,65
VII	Marquardt	863	-4264	0,08426	92,75
VIII	Marquardt	863	-4137	0,09072	91,62
IX	Newton	863	-4249	0,08503	92,63
X	Newton	863	-4073	0,09429	90,92
XI	Newton	863	-4402	0,07778	93,83

donde: n : número de muestras; AIC: criterio de información de Akaike; RMSE: raíz del error cuadrático medio; * $P < 0,05$; n.s.: no significativo.

where: n : number of samples; AIC: Akaike information criterion; RMSE: root mean square error; * $P < 0,05$; n.s.: not significant.

Tabla 5. Comparación del error absoluto medio (MAE) a diferentes fracciones de altura (Prueba Tukey LSD, 95% nivel de confianza).

Table 5. Comparison of the mean absolute error (MAE) at different fractions height (Tukey test LSD, 95% confidence level).

Modelo	0 - 10%	10 - 20%	20 - 30%	30 - 40%	40 - 50%
I	0,1131 a b	0,0860 a	0,0677 a	0,0598 a	0,0482 a
II	0,1459 a b	0,0922 a	0,0684 a	0,0597 a	0,0491 a
III	0,1472 b	0,0937 a	0,0708 a	0,0586 a	0,0483 a
IV	0,1161 a b	0,0879 a	0,0679 a	0,0590 a	0,0489 a
V	0,1072 a b	0,0844 a	0,0639 a	0,0598 a	0,0486 a
VI	0,1116 a b	0,0856 a	0,0643 a	0,0623 a	0,0482 a
VII	0,1110 a b	0,0867 a	0,0651 a	0,0589 a	0,0478 a
VIII	0,1373 a b	0,0859 a	0,0679 a	0,0633 a	0,0495 a
IX	0,1122 a b	0,0875 a	0,0662 a	0,0588 a	0,0480 a
X	0,1326 a b	0,0881 a	0,0708 a	0,0640 a	0,0553 a
XI	0,1003 a	0,0836 a	0,0620 a	0,0575 a	0,0459 a

Modelo	50 - 60%	60 - 70%	70 - 80%	80 - 90%	90 - 100%
I	0,0370 a	0,0328 a	0,0253 a	0,0150 a	0,0071 a b c
II	0,0425 a	0,0350 a	0,0246 a	0,0178 a	0,0118 d e
III	0,0423 a	0,0365 a	0,0278 a	0,0150 a	0,0056 a b
IV	0,0371 a	0,0331 a	0,0263 a	0,0167 a	0,0143 e f
V	0,0384 a	0,0326 a	0,0227 a	0,0159 a	0,0088 c d
VI	0,0383 a	0,0331 a	0,0236 a	0,0262 b	0,0185 g
VII	0,0369 a	0,0331 a	0,0244 a	0,0162 a	0,0089 c d
VIII	0,0398 a	0,0341 a	0,0270 a	0,0152 a	0,0081 b c
IX	0,0381 a	0,0347 a	0,0300 a	0,0154 a	0,0046 a
X	0,0400 a	0,0345 a	0,0235 a	0,0214 a b	0,0154 f
XI	0,0360 a	0,0306 a	0,0226 a	0,0178 a	0,0078 b c

En la zona basal por debajo del 10% de la altura total, solo se presentaron diferencias significativas entre sí, entre los modelos III de Demaerschalk (6) [0,1472] y, el modelo XI de Bruce *et al.* (3) [0,1003]. Entre el 10 y el 80% de la altura total, no se presentaron diferencias significativas entre los diferentes modelos de ahusamiento; considerando que en el caso del modelo segmentado VIII de Valenti y Cao (48), es continuo pero no diferenciable en los puntos de unión, lo que aumenta la variabilidad en la predicción del diámetro en las alturas cercanas a esos puntos. Entre el 80 y el 90% de la altura total, el mayor sesgo lo presentó el modelo segmentado VI de Max y Burkhart (21) [0,0262], diferenciándose del resto; aún cuando este no se diferencia de manera significativa del modelo trigonométrico X de Thomas y Parresol (44) [0,0214].

En la zona apical por encima del 90% de la altura del fuste, se registró la mayor variabilidad del sesgo entre los diferentes modelos. Presentándose el mayor MAE de 0,0185 en el modelo segmentado VI de Max y Burkhart (21); el menor sesgo se evidenció en los modelos de ahusamiento, modelo segmentado IX de Parresol *et al.* (29) [0,0046], modelo III de Demaerschalk (6) [0,0056] y, en el modelo I [0,0071]; los modelos II de Kozak *et al.* (17), IV de Lowell (18), V de Sharma y Zhang (41), VI y VII de Max y Burkhart (21), y X de Thomas y Parresol (44), sobreestimaron el diámetro en la zona apical del fuste, lo cual llevaría a sobrevaloraciones de la oferta de biomasa residual del fuste para fines energéticos.

Sin embargo, los únicos modelos de ahusamiento con el menor MAE en todas las fracciones de altura, son el modelo I y, el modelo IX de Parresol *et al.* (29).

Al evaluar gráficamente solamente aquellos modelos de ahusamiento con

mejor eficiencia predictiva, mayor precisión y menor sesgo (tabla 4, pág. 108 y tabla 5, pág. 109), modelos I, IX de Parresol *et al.* (29) y XI de Bruce *et al.* (3).

Se observa que el modelo XI de Bruce *et al.* (3), posee una alta sensibilidad que se manifiesta en oscilaciones alrededor de la línea de estimación (figura 1c, pág. 111), algo común en los polinomios de alto grado (46, 47).

El modelo I y el modelo IX de Parresol *et al.* (29), presentan una alta flexibilidad en la representación gráfica del perfil del fuste, permitiendo estimar adecuadamente tanto los diámetros de la zona basal del fuste, como aquellos en la parte superior del mismo (figura 1a y 1b, pág. 111); usualmente dichos sectores del fuste no representan un uso comercial para fines de aserríos y pulpa, sin embargo, en los últimos años ha cobrado suma importancia la cuantificación de la biomasa residual para fines energéticos (25).

Validación del volumen del fuste sin corteza

El volumen del fuste sin corteza estimado a partir de la integración por métodos numéricos del modelo de ahusamiento I, al ser validado de manera cruzada con registros de árboles que no participaron en el ajuste para la obtención de parámetros, alcanza una eficacia de predicción de 99,55% (figura 2, pág. 111).

Para la representación gráfica de la altura derivada del modelo de ahusamiento I (figura 3, pág. 111), haciendo uso de la ecuación de Tartaglia-Cardano (16), se consideró un diámetro límite de utilización sin corteza de 8 cm con base a los requerimientos comerciales de punta delgada de madera para fines de aserrío y pulpa en Chile.

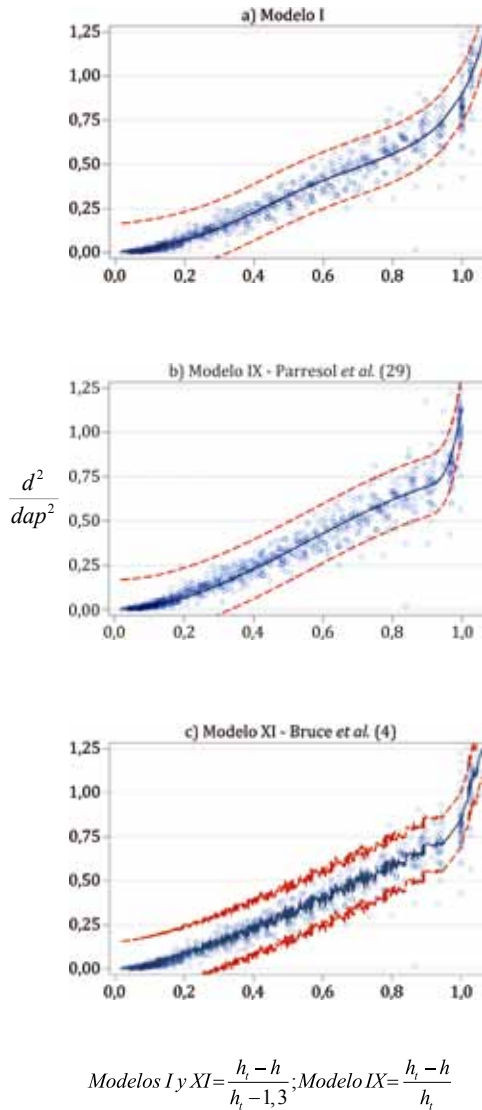


Figura 1 (a, b, c). Modelos de ahusamiento, con límites de confianza al 95%.

Figure 1 (a, b, c). Taper models, with confidence intervals 95%.

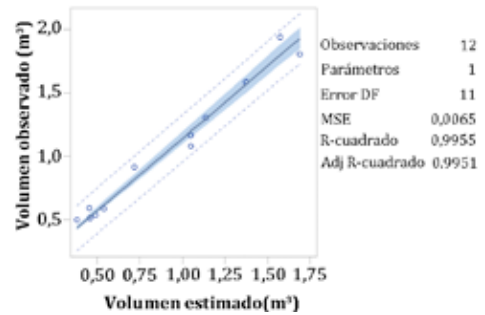


Figura 2. Volumen observado y estimado sin corteza para *E. nitens*, en suelos de cenizas volcánicas.

Figure 2. Observed and estimated volume under bark for *E. nitens*, on soils of volcanic ash.

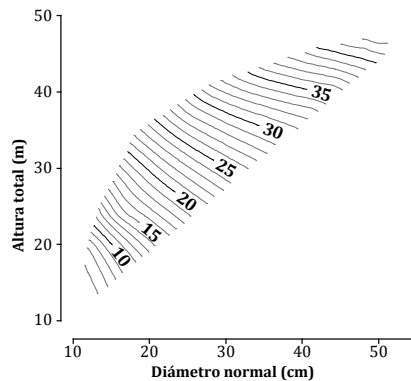


Figura 3. Diagrama de altura comercial (m) *dlu*, 8 cm; en función del diámetro normal y la altura total.

Figure 3. Diagram commercial height (m) *dlu*, 8 cm; depending on the normal diameter and total height.

CONCLUSIONES

El modelo de ahusamiento I es continuo y diferenciable en la totalidad del perfil del fuste. Los estadísticos de bondad de ajuste y predictivos del modelo de ahusamiento propuesto, mostraron la eficiencia del mismo para estimar el diámetro y el volumen del fuste sin corteza; sobre cualquier fracción de altura.

El modelo de ahusamiento I permite a su vez predecir de manera acertada y de forma directa, cualquier altura comercial del fuste en función de cualquier diámetro límite de utilización, por medio de la expresión

algebraica obtenida haciendo uso de la ecuación de Tartaglia-Cardano (16).

El modelo de ahusamiento I desarrollado en el presente artículo, enseña una mayor eficiencia para la estimación del perfil del fuste que el modelo segmentado de Parresol *et al.* (29) modelo IX y, una mayor estabilidad gráfica que el modelo de Bruce *et al.* (3) modelo XI; con base a lo cual se recomienda su aplicación para la cubicación del fuste de *E. nitens*, sobre suelos de cenizas volcánicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *Automatic Control, IEEE Transactions on.* 19(6): 716-723.
2. Allen, P. 1991. Polynomial taper equation for *Pinus caribaea*. *New Zealand Journal of Forestry Science.* 21(2/3): 194-205.
3. Bruce, D.; Curtis, R.; Vancoevering, C. 1968. Development of a system of taper and volume tables for red alder. *Forest Science.* 14(3): 339-350.
4. Cao, Q.; Burkhart, H.; Max, T. 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science.* 26(1): 71-80.
5. CR 2, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. 2015. Datos de Precipitación 1940- 2013. Disponible en: <http://www.cr2.cl/recursos-y-publicaciones/bases-de-datos/datos-de-precipitacion/>
6. Demaerschalk, J. 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science.* 18(3): 241-245.
7. Demaerschalk, J. 1973. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Canadian Journal of Forest Research.* 3(1): 90-94.
8. De Miguel, S.; Mehtatalo, L.; Shater, Z.; Kraid, B.; Pukkala, T. 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Canadian Journal of Forest Research.* 42(7): 1383-1394.
9. Diéguez, U.; Barrio, M.; Castedo, F.; Balboa, M. 2003. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12(2): 131-139.
10. Diéguez, U.; Rojo, A.; Castedo, F.; Álvarez, J.; Barrio, M.; Crecente, F.; González, J.; Pérez, C. 2009. Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia C. d. M. R. Dirección Xeral de Montes, Xunta de Galicia (Ed.). p. 272.
11. Di Leo, N. C.; Bonel, B. A.; Montico, S.; Vilche, M. S.; Denoia, J. A. 2007. Balance energético en unidades de tierra de una cuenca rural basado en un sistema de información geográfica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 39(1): 41-57.
12. Gilbert, H.; Paci, C. 2010. An assessment of volume-ratio functions for *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in Chile. *Ciencia e Investigación Agraria.* 37(1): 5-15.

13. Gomat, H.; Deleporte, P.; Moukini, R.; Mialounguila, G.; Ognouabi, N.; Saya, A.; Vigneron, P.; Saint, L. 2011. What factors influence the stem taper of *Eucalyptus*: growth, environmental conditions, or genetics? *Annals of Forest Science*, 68(1): 109-120.
14. Hjelm, B. 2013. Stem taper equations for poplars growing on farmland in Sweden. *Journal of Forestry Research*. 24(1): 15-22.
15. Honorato, J. 2011. Modelos volumétricos fustales para *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. en plantaciones agroforestales de la Sierra Norte de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2(6): 55-71.
16. Kichenassamy, S. 2015. Continued proportions and Tartaglia's solution of cubic equations. *Historia Mathematica*.
17. Kozak, A.; Munro, D.; Smith, J. 1969. Taper functions and their application in forest inventory. *The Forestry Chronicle*. 45(4): 278-283.
18. Lowell, K. 1986. A flexible polynomial taper equation and its suitability for estimating stem profiles and volumes of fertilized and unfertilized radiata pine trees. *Australian Forest Research*. 16(2): 165-174.
19. Martínez, J.; Acosta, A. 2014. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina*, en Ixtlán, Oaxaca, México. *Madera y bosques*. 20(1): 59-70.
20. Matovic, B.; Koprivica, M.; Radonja, P. 2007. Generalized taper models for Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in Bosnia and west Serbia. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 178(7/8). 150.
21. Max, T.; Burkhart, H. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*. 22(3): 283-289.
22. Mead, D. 2013. Sustainable management of *Pinus radiata* plantations FAO (Ed.) Forestry paper 170. Retrieved from www.fao.org/3/a-i3274e.pdf
23. Milanesi, G.; Woitschach, G. B. M.; Broz, D. R. 2012. Aplicación de la teoría de opciones reales a la determinación del momento óptimo de cosecha forestal. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 44(2): 65-78.
24. Muñoz, F.; Espinosa, M.; Herrera, M.; Cancino, J. 2005. Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. *Bosque*. 26(1): 93-99.
25. Muñoz, E.; Vargas, S.; Navia, R. 2015. Environmental and economic analysis of residual woody biomass transport for energetic use in Chile. *Int J Life Cycle Assess*. 20: 1033-1043.
26. Mussetta, P.; Barrientos, M. J. 2015. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el Cambio Ambiental Global: clima, agua, economía y sociedad. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(2): 145-170.
27. Newnham, R. 1992. Variable-form taper functions for four *Alberta* tree species. *Canadian Journal of Forest Research*. 22(2): 210-223.
28. Parresol, B. 1998. Prediction and error of baldcypress stem volume from stump diameter. *Southern Journal of Applied Forestry*, 22(2): 69-73.
29. Parresol, B.; Hotvedt, J.; Cao, Q. 1987. A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian Journal of Forest Research*. 17(3): 250-259.
30. Peña-Cortés, F.; Escalona-Ulloa, M.; Pincheira-Ulbrich, J.; Rebolledo, G. 2011. Cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del río Boroa (Chile) entre 1994 y 2004. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 43(2): 1-20.
31. Pinilla, J.; Ferrando, M.; Bahamóndez, C.; Martín, M. 2000. Modelo de crecimiento para eucalipto en Chile. Informe técnico N° 148.
32. Pinkard, E.; Beadle, C. 1998. Effects of green pruning on growth and stem of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. *New Forest*. 15: 107-126.
33. Quiñonez, G.; De los Santos, H.; Álvarez, J.; Velázquez, A. 2014. Sistema compatible de ahusamiento y volumen comercial para las principales especies de *Pinus* en Durango, México. *Agrociencia*. 48(5): 553-567.

34. Rachid, C.; Mason, E.; Woollons, R.; Resquin, F. 2014. Volume and taper equations for *P. taeda* (L.) and *E. grandis* (Hill ex. Maiden). *Agrociencia Uruguay*. 18(2): 47-60.
35. Real, P.; Moore, J. 1986. An individual tree system for douglas-fir in the inland north-west. USDA Forestry Service General Technical Report NC-120, 1037-1044.
36. Renteria, J.; Ramirez, H. 1998. Sistema de cubicación para *Pinus cooperi* blanco mediante ecuaciones de ahusamiento en Durango. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 4(2): 315-321.
37. Santiago, W.; De los Santos, H.; Ángeles, G.; Corral, J.; Valdez, J.; Del Valle, D. 2014. Predicción del rendimiento maderable de *Pinus patula* Schl. et Cham. a través de modelos de distribución diamétrica. *Agrociencia*. 48(1): 87-101.
38. SAS, Institute. 2009. Statistical Analysis System, Versión 9.2. Cary, North Carolina. Retrieved from <http://support.sas.com/documentation/92>.
39. Schlatter, J.; Gerding, V. 1995. Método de clasificación de sitios para la producción forestal, ejemplo en Chile. *Bosque*, 16(2), 13-20.
40. Sharma, M.; Oderwald, R. 2001. Dimensionally compatible volume and taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*. 31(5): 797-803.
41. Sharma, M.; Zhang, S. 2004. Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. *Forest Ecology and Management*. 198(1): 39-53.
42. Smethurst, P.; Baillie, C.; Cherry, M.; Holz, G. 2003. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. *Forest Ecology and Management*. 176: 531-542.
43. Tamarit, J.; De los Santos, H.; Alfrete, A.; Valdez, J.; Ramírez, H.; Guerra, V. 2014. Sistema de cubicación para árboles individuales de *Tectona grandis* Lf mediante funciones compatibles de ahusamiento-volumen. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 5(21): 57-75.
44. Thomas, C.; Parresol, B. 1991. Simple, flexible, trigonometric taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*. 21(7): 1132-1137.
45. Torrubiano, C.; Salinas, H. 1998. Herramientas de cubicación para pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) ubicado en la zona de Valdivia. *Bosque*. 19(2): 11-21.
46. Trincado, G.; Vidal, J. 1999. Aplicación de interpolación "spline" cúbica en la estimación de volumen. *Bosque*. 20(2): 3-8.
47. Trincado, G.; Sandoval, V. 2002. Algoritmos para la estimación de volúmenes comerciales. Quebracho. *Revista de Ciencias Forestales*. 9: 106-114.
48. Valenti, M.; Cao, Q. 1986. Use of crown ratio to improve loblolly pine taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*. 16(5): 1141-1145.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consorcio Tecnológico BioEnercel S.A, Forestal MININCO, MASISA S. A. y Forestal ARAUCO S.A., por la participación y financiamiento de la investigación denominada "Aprovechamiento sustentable de residuos de cosecha forestal e industrial para producción de biocombustibles de segunda generación" (Subproyecto 08CTE03-02) y, al apoyo de la beca de la Agencia de Cooperación Internacional de Chile (AGCI) y de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT-PCHA / Doctorado Nacional / 2013-63130284).

Contribution of *Amyntas gracilis* (Megascolecidae) and *Octolasion cyaneum* (Lumbricidae) to soil physical stability: a mesocosm experiment

Contribución de *Amyntas gracilis* (Megascolecidae) y de *Octolasion cyaneum* (Lumbricidae) a la estabilidad física del suelo: una experiencia en mesocosmos

Liliana Falco, Carlos Coviella

Originales: *Recepción*: 30/06/2014 - *Aceptación*: 01/10/2015

ABSTRACT

The contribution of the introduced species *Amyntas gracilis* (Kinberg, 1867) and *Octolasion cyaneum* (Savigny, 1826) to the physical stability of the soil was evaluated in a mesocosm experiment. Pore formation and stable aggregates were measured; as well as changes in bulk density, porosity, and soil moisture. Mesocosm pots were organized into three treatments: 1- soil + *Amyntas gracilis*, 2- soil + *Octolasion cyaneum* and 3- soil (control containers). The experiment ran for 13 weeks and it was conducted in controlled conditions in a greenhouse. At the end of the experiment both treatments with earthworms had higher number of pores and stable aggregates at the two considered depths (0 - 5 cm and 5 - 10 cm). The presence of both earthworm species favors the formation of a significantly higher proportion of stable aggregates larger than 5 mm (60%), when compared to the control without worms. These structures helped maintaining bulk density and porosity and improved water circulation. The results show that when compared to the control, both treatments had a lower loss of pore space, lower bulk density, and higher soil moisture, all attributable to earthworm presence. It is concluded that, despite both being introduced species, in intensive agricultural systems, *A. gracilis* and *O. cyaneum* can contribute to the maintenance of soil physical stability thus helping to preserve the sustainability of agro-ecosystems, even if native species became rare or locally extinct.

Keywords

pores • soil physical stability • aggregate stability • introduced species • earthworms

Laboratorio de Ecología. Universidad Nacional de Luján. Av. Constitución y
Ruta 5 (CC 221) 6700 Luján - Buenos Aires. Argentina. falcoliliana@gmail.com

RESUMEN

En un experimento de mesocosmos se evaluó la contribución a la estabilidad física del suelo de las especies introducidas *Amyntas gracilis* (Kinberg, 1867) y *Octolasion cyaneum* (Savigni, 1826). Se midió la formación de poros y de agregados estables, así como cambios en la densidad aparente, porosidad y humedad del suelo. Los contenedores de los mesocosmos fueron organizados en tres tratamientos: 1- suelo + *A. gracilis*, 2. Soil + *O. cyaneum*, and 3. Soil (contenedores control). El experimento se realizó a lo largo de 13 semanas en condiciones controladas en invernáculo. Al final del experimento los tratamientos con ambas especies generaron poros y mostraron mayor proporción de agregados estables a las dos profundidades consideradas (0 - 5 cm y 5 - 10 cm). Ambas especies de lombrices facilitaron la generación de una proporción significativamente mayor de agregados mayores a 5 mm (60%), en comparación con los controles sin lombrices. Estas estructuras ayudaron a mantener la densidad aparente y la porosidad y mejoraron la circulación de agua. Los resultados muestran que, comparados con el control, ambos tratamientos tuvieron una menor pérdida de espacio de poros, menor densidad aparente y mayor humedad de suelo, todos atribuibles a la presencia de las lombrices. Se concluyó que, a pesar de ser ambas especies introducidas, en sistemas agrícolas intensivos *A. gracilis* y *O. cyaneum* pueden contribuir al mantenimiento de la estabilidad del suelo, ayudando así a preservar la sustentabilidad de los agroecosistemas, aun cuando las especies nativas puedan convertirse en raras o localmente extintas.

Palabras clave

poros • estabilidad física del suelo • estabilidad de agregados • especies introducidas • lombrices

INTRODUCTION

The main influence earthworms have on soil is the modification of soil structure through the creation of burrows and the production of casts. It is thus generally claimed that earthworms can contribute to the regeneration of compacted zones and this has been demonstrated under laboratory conditions (10). Earthworms create soil biogenic aggregates with very particular physical, chemical, and microbiological properties (29).

However, the overall effects of earthworms on soil and ecosystem functioning are not uniform, concerning aggregate formation in particular, which may vary according to their ecological categories, the particular species involved (4, 14, 26, 29),

and land use history (25). Aggregate's formation is the result of soil particle reordering, flocculation, and cementing, and it is known to be mediated by soil organic carbon, biota activity, ionic bridge, and clay and carbonates (7).

The increase in land-use intensity results in a decline of soil biodiversity (11, 21, 25, 30, 32, 41). Earthworms have been shown to be sensitive to the changes introduced by agricultural management (crop type, mineral nitrogen input, organic nitrogen input, mechanical field operations, and pesticide applications), which lead to the disappearance of native species or to their replacement by introduced species.

These changes have an impact on the ability of the soil to provide ecosystem services (3, 7, 12, 38). It is therefore important to know the contribution made by different earthworm species (4, 5, 26, 32). In this context it also becomes relevant to know the effects introduced species have in replacing native ones under changing conditions. Because most introduced species can tolerate a wide range of soil and environmental conditions, they have been often considered as the predominant earthworm fauna in anthropic tropical ecosystems (22), and to be important in maintaining the fertility of agricultural lands (31).

Amyntas gracilis (Kinberg, 1867) (Megascolecidae) and *Octolasion cyaneum* (Savigny, 1826) (Lumbricidae) are two peregrine introduced species sharing environments in Argiudoll soils of the rolling Pampas in Argentina. They have been successful in colonizing disturbed environments (18, 20, 35, 36, 37). Due to their wide distribution, it is important to know whether these two particular species, have a significant impact on soil physical properties. According to the classification by Bouché (1977), *A. gracilis* is an epi-endogeic species associated with litter (19), while *O. cyaneum* is an endogeic species living within the soil feeding on a mixture of organic matter and mineral soil.

This study focuses on evaluating changes in soil physical variables, brought about by the presence of these two earthworm species, comparing each one of them with the control. A temporal analysis of each treatment was also performed.

The working hypothesis was that *A. gracilis* and *O. cyaneum* presence contributes to soil physical stability. In this context, the objective of this work was to evaluate *A. gracilis* and *O. cyaneum* activity, through their effects in the generation of pores, number of stable

aggregates, and its effects on soil bulk density, porosity, and soil moisture. The study also expected to find differences in the action of *A. gracilis* and *O. cyaneum*.

MATERIALS AND METHODS

Adult earthworms and soil were collected from cattle-grazing fields, on typical Argiudoll soils (18.6% clay, 63% silt, 18.4% sand, 3.6% organic matter, and 2.12% organic carbon).

The soil was sieved through a 2 mm mesh, to remove structure, homogenize the soil, and to extract all roots, and then dried at 30°C to constant mass. Sixty three mesocosm pots were each filled with 600 g of soil and were slowly irrigated. After 24 hours, they were further irrigated to saturation, left to drain to field capacity and weighed again. Thus, at the start of the experiment each container presented the same amount of soil and moisture condition. Each container within a treatment was then considered a replicate. The mesocosm pots were arranged in a greenhouse into three treatments: 1- soil + *Amyntas gracilis*, 2- soil + *Octolasion cyaneum* and 3- soil without earthworms (control treatment).

One adult of either one of the species was placed in each one of the 21 containers per treatment, and 50 g of manure was added as food. The control containers were processed in the same way but without earthworms. Throughout the experiment, temperature was monitored (23°C ± 2°C) and the containers were irrigated with 120 ml distilled water three times a week to keep them close to field capacity.

On each sampling date (30 and 90 days) seven random mesocosm pots per treatment were removed and dried in an oven at 30°C. In each container, the number and size (diameter) of the pores generated by each of the species was determined.

In order to do this, once the containers had been removed from the oven and their weight registered, a longitudinal cut was performed on the soil clod, and the diameter of each pore was measured with a caliper over one of its faces.

The wet method recommended by Ester and van Rozen (2012) was used to evaluate the stability of soil aggregates at two depths: from surface to 5 cm and from 5 to 10 cm. The wet procedure consisted in a continuous water flow from a shower tap on to a metal sieve column (5, 4, and 2 mm mesh diameters) filled with a 200 g soil sample. The rate of water flow was equalized for each replicate, and the samples remained for 2 min under the tap. The remaining material on the sieve was considered to be stable aggregates, expressed as the percentage by weight of the original sample. The aggregate sizes tested were > 5 mm; > 4mm, and > 2 mm.

At 0, 30, and 90 days, bulk density was determined according to Porta's methodology (42); total porosity was calculated from bulk density data.

Particle density was considered to be equal to the theoretical value for quartz (2.65 g/cm^3), quartz being one of the most common soil mineral components. Soil moisture was evaluated through gravimetric humidity, calculated as the ratio of the mass of the liquid fraction to the mass of the solid fraction G_h ($\text{g of water} * \text{g of soil}^{-1} = \text{wet weight} - \text{dry weight} / \text{dry weight}$) following Gil (2002).

To test for significant differences and due to the non-normal distribution of the data, Kruskal -Wallis ANOVA was used to analyze the data. To identify which group or groups were significantly different, the Mann-Whitney test was used.

RESULTS AND DISCUSSION

Pore number and size

Given the conditions under which the test was developed (dried and sieved soil), all pores observed in the pots are part of the galleries created by earthworms. The statistical analysis shows that the number and size of pores varied between treatments ($p < 0.05$), (table 1, page 119) and the number of pores clearly reflected earthworm activity.

Furthermore, *A. gracilis* had higher activity than *O. cyaneum*, as shown by the higher number of pores produced by this species ($p < 0.05$), (table 1, page 119). *A. gracilis* differed from *O. cyaneum* not only in the amount of pores (greater in both periods), but also in their size distribution. Significant differences were found for 3, 4 and 5 mm pores. While the number of pores indicates movement in the container, the diameter of the pores reflects earthworm body size. Most of the pores built by *A. gracilis* ranged from 3 to 4 mm in diameter, ($p < 0.05$) while most of the pores built by *O. cyaneum* were 2 mm in diameter (table 1, page 119). These differences were maintained throughout the experience.

The existence of these biopores, largely regulates soil hydraulic properties and affect soil organic matter turnover (29). Macroporosity (pore diameter greater than 1 mm), promotes water infiltration into the soil allowing for a fast flow of gravitational water (35). All the pores found in this study were larger than 1 mm in diameter, which facilitates the process of incorporating water into the soil, and enhancing soil moisture.

Table 1. Number of pores by size and aggregate formation in the treatments with *Amyntas gracilis* and *Octolasion cyaneum* in a mesocosm experiment.

Tabla 1. Número de poros según tamaño y formación de agregados en los tratamientos con *Amyntas gracilis* y *Octolasion cyaneum* en un experimento de mesocosmos.

	Pores				Total aggregates (%)	aggregates (%) by size at the two depths					
	Number of pores *mesocosm ⁻¹	size				>2mm	>4 mm	>5mm	>4 mm	>5 mm	
		2 mm	3 mm	4 mm							5 mm
day 30											
<i>Amyntas gracilis</i>	10 +/-3 Aa	3 +/-4 ADa	3 +/-2 BDa	4 +/-2 ADa	1 +/-1 ADa	14.9 ALGa	7.3 AKGa	27.3 BJGa	8.5 AKGa	6.2 AKGa	35.8 AJGa
<i>Octolasion cyaneum</i>	3 +/-3 Ab	3 +/-3 ADa	0 BEb	0 AEb	0 AEa	19.6 AJGa	11.3 AJGa	18.5 BJGa	12.2 AKGa	7.5 AKGa	30.9 AJGa
control	0 Bc	0 BDb	0 ADb	0 ADb	0 ADa	27.6 AJGa	16.2 AKGa	12 BKGb	21.3 AJGa	10.7 AKGa	12.2 AJGb
day 90											
<i>Amyntas gracilis</i>	14 +/-3 Ba	1 +/-1 AEa	6 +/-3 ADa	5 +/-3 ADa	2 +/-2 2AFa	10.3 AKGa	8.1 AKGa	30.1 AJGa	10.8 AKGa	6.8 AKGa	33.4 AJGa
<i>Octolasion cyaneum</i>	4 +/-2 Ab	3 +/-2 Ab	1 +/-1 AEb	0.5 +/-1 1AEb	0 AEa	11.9 BLGa	6.6 BKGa	35.6 AJGa	6.7 BKGa	6.3 AKGa	32.9 AJGa
control	1 +/-1 Ac	1 +/-1 ADa	0 ADb	0 ADb	0 ADa	22.8 AJGa	8.7 BKGa	20.6 AJGb	21 AJGa	11.1 AKGa	16.5 AJGb

Kruskal Wallis ANOVA test and post hoc Mann-Whitney U-test. Means ± standard deviation are shown for the pore size testing. Different lower case letters abc in the same column and date indicate significant differences between treatments (p<0.05). Uppercase letters indicate significant differences (p<0.05) according to the following combinations: ABC letters used for differences between dates within the same treatment (upper and lower parts of the table); only for pore size (left hand side of the table) DEF letters used for pore number differences according to size within treatments; only for % aggregates (right hand side of the table) JKL letters used for differences according to size within treatments at the same depth; GHI letters used for differences in % aggregates of the same size between the two depths.

Test de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney post-hoc. Se muestran las medias ± desviación estándar para tamaño de poros. Diferentes letras minúsculas abc en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0.05). Letras mayúsculas indican diferencias significativas (p<0.05) de acuerdo con las siguientes combinaciones: ABC usadas para diferencias entre fechas, dentro del mismo tratamiento (partes superior e inferior de la tabla); solo para tamaño de poros (lado izquierdo de la tabla) DEF usadas para diferencias en el número de poros según tamaño; solo para % de agregados (lado derecho de la tabla) JKL usadas para diferencias en % de agregados según tamaño para un mismo tratamiento y profundidad; GHI usadas para diferencias en % de agregados del mismo tamaño entre ambas profundidades.

Aggregate formation

Because of its role in the retention of organic carbon and moisture, soil aggregation is an important factor for sustainable land management (1), and earthworms are facilitators in the process of soil aggregation production and maintenance. Earthworm mixing of organic matter with mineral soil has significant effects on the production of aggregates and on their properties (1, 8).

The data gathered show significant differences on stable aggregates' found ($p < 0.05$) between the treatments with earthworms and the control (table 1, page 119) during the whole experiment. This result supports the notion that organic input and earthworm activity play a significant role in promoting soil aggregation (2). This study is in agreement with the results obtained by Mummey *et al.* (2006), working with *Aporrectodea caliginosa*, and those by Bossuyt *et al.* (2006) with *A. caliginosa* and *L. rubellus*.

After 30 days, the treatments with both *A. gracilis* and *O. cyaneum* showed a large proportion of stable aggregates (50% and 60% respectively).

However, by day 90 the increase in aggregate found was lower (for a total of 60% for the treatment with *A. gracilis* and 70% for the treatment with *O. cyneum*), with no significant increase in the amount of aggregate formation in either treatment.

In this regard, Al-Maliki and Scullion (2013), reported that their treatment with *Lumbricus terrestris* showed significantly more aggregates up to day 40, and that earthworm induced increases in stable aggregates were not significant from day 40 to day 80.

However, these authors also found that the differences between treatments and the control were lost, while the ones presented in this study remained the same until the end of the experiment.

There were also significant differences in the number of stable aggregates between the treatments with the two species. The treatment with *A. gracilis*, showed a higher proportion of stable aggregates larger than 5 mm at both depths analyzed (0- 5 cm and 5 -10 cm) and the relationships between aggregate sizes (5 mm > 2 mm > 4 mm) also remained the same ($p < 0.05$). The amount of larger aggregates in the first 5 cm increased from day 30 to day 90 at the expense of the smaller ones ($p < 0.05$).

The treatment with *O. cyaneum* also showed a higher proportion of aggregates larger than 5 mm, and it was also higher than that of >2 to >4 mm ($p < 0.05$). At day 30, > 5mm aggregates were at the 10 cm ($p < 0.05$). By the end of the experiment, the proportion of these stable aggregates was the same at both depths. However, it is interesting to note that, while the proportion of larger aggregates increased with time ($p < 0.05$), that of smaller ones decreased.

The low proportion of small aggregates at the end of the experiment, suggests that some of the smaller aggregates were incorporated into the larger ones. This was evident for the treatment with *O. cyaneum*, that by the end of the experiment showed an increase in aggregates larger than 5 mm and a decrease in smaller ones. Working with *Metaphire posthuma*, Jouquet *et al.* (2013) found a clear relationship between the sizes of the aggregates and the abundance of bacteria and fungi within them.

Mummey *et al.* (2006), found that microbial communities within aggregates, especially larger ones, varied depending on the presence of earthworms and that, within micro-aggregates formed by earthworms, micro-organisms were largely inactive due to the rapid occlusion of organic materials.

The results presented here provide evidence that the presence of *A. gracilis* and especially *O. cyaneum* promotes the formation of such larger aggregates.

Mummey *et al.* (2006), also showed that the abundance of bacteria and fungi in casts increased with the size of the aggregate and that the opposite trend was observed for the control. In laboratory experiments, Bossuyt *et al.* (2006), found that stable microaggregates were formed within 12 days of incubation in the presence of earthworms.

Hedde *et al.* (2013), found that, the structural stability of large aggregates was strongly influenced by the type of soil and earthworm species.

In the control treatment, aggregates were also formed, in this case the most frequent size was less than 2 mm ($p < 0.05$). Other studies found similar results, calling them physicogenic aggregates (23, 27).

Malik and Scullion (2013), associate the formation of these aggregates to the activity of microorganisms (especially fungi); Jouquet *et al.* (2013), found that the intervention of bacteria and fungi was important in the formation of these physicogenic aggregates.

Jouquet (28) proposed that their formation is the result of both abiotic (tillage processes, wetting and drying cycles) and biotic (microbial activity associated with root exudation and degradation but not soil macrofauna activity) processes.

Inside the aggregates, natural drying and time make the link between organic matter, minerals and mucus more resistant, leading to an increase in their stability (9, 44).

Shipitalo and Protz (1989) describe how earthworms directly promote the formation of organic matter-cored microaggregates.

Shaw and Pawluk (1986) and Shipitalo and Protz (1988) state that the proportion

of aggregates of different sizes and their stability strongly depend on earthworm species and soil type.

Both *A. gracilis* and *O. cyaneum* promote stable aggregate formation of equal size and in similar proportions in the entire volume of the containers. No differences were found for the two depths (0 -5 and 5 to 10 cm).

In agreement with the data obtained in this study, Scullion and Malik (2000) found (for *Lumbricus terrestris*, *L. Rubellus*, *Aporrectodea longa*, *A. caliginosa* and *A. chlorotica*), both in microcosms and field studies, that aggregates are generally found between 0 and 20 cm deep, they range in size from 2 to 6.3 mm and that furthermore, these formations are more stable than other aggregates of non- biological origin.

Regarding the stability of biological aggregates, Marinissen and Dexter (1990); Marinissen (1994) and Shipitalo and Protz (1989) indicate that aggregates are unstable while fresh, but that they are more stable than non-biological soil aggregates once dry. This is reflected in the number of stable aggregates found in this study.

Both earthworm treatments had a significantly higher proportion of aggregates when compared to the control ($p < 0.05$), and no differences were found between the size of the aggregates produced by each one of them.

Jouquet *et al.* (2008) state that aggregation is a major component of soil fertility, controlling porosity, water storage and oxygen diffusion, and therefore the mineralization or sequestration of soil organic matter (SOM) and the retention or the leaching of mineral nutrients. These studies showed that the presence of some of these species acted in favor of the system's stability.

Bulk density

The results show that the earthworm activity can maintain or change bulk density as well. In this study, density values measured at days 0, 30, and 90 of the experiment were compared (table 2, page 123).

Both earthworm species differ from the control ($p < 0.05$) in which density had increased by 40% at the end of the experiment. These differences can be attributed to earthworm movement inside the container, organic matter incorporation, mixing it with the soil, casts production, and the formation of gallery systems and thus, reducing soil compaction.

No differences in bulk density were observed for *A. gracilis* or for *O. cyaneum* between dates. Regarding the control, bulk density increased ($p < 0.05$) by the end of the experiment with no differences between the values between day 30 and day 90.

It is interesting to note that by day 30, the highest proportion of aggregates larger than 5 mm found in the *O. cyaneum* treatment were found at 5-10 cm, while for the *A. gracilis* treatment their distribution was homogenous for both depths. This difference in the location of the aggregates in each treatment could determine the differences in this variable, since by the end of the study both earthworm treatments had equal proportion and distribution of aggregates and the same response for the bulk density value.

These results also show that organic matter presence on the surface did not, by itself, ensure that the initial conditions were maintained. Irrigation determined a particle reorganization which generated a loss of porosity. Riley *et al.* (2008) mentions the same increase in density and the reduction of soil moisture in the absence of earthworms.

Doran and Parkin (1994) suggest that bulk density may be included among the minimum indicators used to measure soil quality. The results of this study indicate that, by maintaining bulk density, these two introduced earthworm species contribute to the preservation of soil stability.

Porosity and soil moisture

Preventing the loss of soil pore space ensures the maintenance of air and water flows as well as the soil's water retention capacity and rainwater reservoir (39).

The data gathered in this work indicate that, at the end of the study, the presence of *A. gracilis* or *O. cyaneum* prevented compaction, and differed from the control ($p < 0.05$) (table 2, page 123).

Data shows that at day 30, only *A. gracilis* kept the porosity in the mesocosm. By that date, the *O. cyaneum* treatment, as well as the control, showed a porosity reduction and differed significantly to that of *A. gracilis* ($p < 0.05$).

However, after 90 days, *O. cyaneum* increased the value of porosity, matching *A. gracilis* (62%), while the control reduced the value of this parameter even more (51%). The control treatment showed a significant 7% reduction in porosity by day 30 ($p < 0.05$) and an additional 8% reduction by day 90.

Jouquet *et al.* (2012) and citations thereof, agree that by creating burrows and egesting casts, earthworms modify soil porosity. Hedde *et al.* (2013) found that their activity increases incorporation of plant residues into soil aggregates, and enhance soil porosity and stable aggregates formation through the soil profile.

Table 2. Earthworm presence effects on soil physical parameters in a mesocosm experiment.

Tabla 2. Efectos de la presencia de las lombrices sobre parámetros físicos del suelo en un experimento de mesocosmos.

	bulk density (g * cm ⁻³)			Porosity (%)			Gravimetric humidity (g of water * g of soil ⁻¹)		
	day 0	day 30	day 90	day 0	day 30	day 90	day 0	day 30	day 90
<i>Amyntas gracilis</i>	0.9 +/- 0.04 A	0.9 +/- 0.1 Aa	1 +/- 0.1 Aa	66 +/- 1.5 A	63 +/- 2.7 Aa	62 +/- 2 Aa	0.22 +/- 0.04 A	0.42 +/- 0.1 Ba	0.34 +/- 0.03 Ca
<i>Octolasion cyaneum</i>	0.9 +/- 0.03 A	1.1 +/- 0.2 Aab	1 +/- 0.03 Aa	65 +/- 1.2 A	58 +/- 8 Ab	62 +/- 1.5 Aa	0.23 +/- 0.03 A	0.39 +/- 0.2 Ba	0.37 +/- 0.03 Ba
Control	0.9 +/- 0.03 A	1.2 +/- 0.2 Bb	1.3 +/- 0.2 Bb	66 +/- 1.1 A	59 +/- 7 Bb	51 +/- 8 Bb	0.23 +/- 0.03 A	0.2 +/- 0.1 Ab	0.2 +/- 0.1 Ab

Kruskal Wallis ANOVA test and post hoc Mann-Whitney U-test. Means ± standard deviation are shown. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments (p<0.05). Different capital letters in the same row indicate significant differences in the same treatment (p<0.05)

Test de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney test. Se muestran medias ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05). Diferentes letras mayúsculas en la misma columna indican diferencias significativas dentro del mismo tratamiento (p<0,05).

The results presented here indicate that porosity is influenced by the presence of aggregates and pores. The control showed a lower proportion of aggregates when compared with both treatments (table 1, page 119), albeit not enough to avoid compaction and loss of pore space. In the case of the *A. gracilis* treatment, the combination of aggregates found both in number and in size, and the higher number of pores by day 30, allowed for a significant effect in the maintenance of soil porosity, a condition that remained high until the end of the trial.

In the case of the *O. cyaneum* treatment, the low amount of pores and a lower proportion of aggregates larger than 5 mm may be the reason for the loss of porosity observed by day 30. However after 90 days, the higher proportion of large aggregates lead to the observed increase in porosity at the end of the experiment.

Even though earthworm burrows make up a small portion of the total soil porosity (14, 30), their relatively large size and connectivity make them important conduits for water and air movement (30), and can alter soil hydraulic conductivity (15, 28).

Regarding soil humidity, both mesocosms with earthworms showed higher water content when compared to the control ($p < 0.05$) throughout the entire study. No differences were found when comparing the treatments with *A. gracilis* and *O. cyaneum* (table 2, page 123).

Soil humidity in each treatment also varied over time for both earthworm treatments, with no change for the control. The mesocosm with *A. gracilis*, showed significant differences between dates. Up to day 30, the water content significantly increased from 0.22 g of water per gram of soil to 0.42 g of water per gram of soil ($p < 0.05$) and then decreased to 0.34 grams of water per gram of soil by

day 90, but still remained higher than at day 0 ($p < 0.05$). *O. cyaneum*, also increased the water content after 30 days, from 0.23 to 0.39 grams of water per gram of soil ($p < 0.05$), with no further significant change by day. In the treatment without earthworms soil humidity showed no change throughout the 90 days of the study.

These results differ from those found by Eltaif and Gharaibeh (2009) who found a reduced hydraulic capacity in experiments with *Aporrectodea caliginosa* in mesocosm conditions. This supports the idea that an earthworm effect on soil properties is species-dependant, and related to behavior and life strategy.

CONCLUSIONS

This study showed significant changes in soil physical variables brought about by the presence of these two earthworm species. The results presented support the working hypothesis that *A. gracilis* and *O. cyaneum* presence contributes to soil physical stability. The presence of both species had significant effects in the generation of pores, number of stable aggregates, soil bulk density, porosity, and soil moisture. There were also significant differences in the action of *A. gracilis* and *O. cyaneum*.

The results of this study show the important effects that both *A. gracilis* and *O. cyaneum* have on the formation of aggregates and pores, with significant effects on soil structure through the variables measured.

Through its effects in the mesocosm in the generation of pores and the promotion in the formation of aggregates of different sizes that were located at both depths, *Amyntas gracilis* showed a positive effect on the measured variables. The resulting

structure allowed for the maintenance of a higher porosity and a resulting lower bulk density. These effects of *A. gracilis* behavior remained until the end of the study. For *O. cyaneum* the positive effect was observed at the end of the study (day 90), preventing compaction and loss of pore space.

The differences found between both earthworm treatments suggests that the location of the aggregates has significant effects on bulk density and porosity.

In agreement with the cited literature, it can be concluded that small amount of aggregate formation in the control was the result of particle reorganization, cementation, and participation of microorganisms. However, the significantly higher aggregate formation and higher porosity in the treatments with either earthworm species, as well as the lower resulting bulk density and higher soil humidity, all highlight the importance of these earthworm species.

Therefore, the presence of these introduced species is shown to contribute to the maintenance of soil stability.

The results presented in this work mean that, in environments in which one or both of earthworm species are present, compaction processes will not show, even if native species became rare or locally extinct. As these two species are introduced to the region, this is a particularly important result, showing that introductions need not be detrimental to the system.

Understanding the contributions made by each species individually, gives us a tool to use not only as an indicator of environmental conditions but also for the development and implementation of soil recovery systems. Carrying out field experiments may help to corroborate the results obtained in this study under laboratory conditions.

REFERENCES

1. Al-Maliki, S.; Scullion, J. 2013. Interactions between earthworms and residues of differing quality affecting aggregate stability and microbial dynamics. *Applied Soil Ecology*. 64: 56-62.
2. Ayuke, F.; Brussaard, L.; Vanlauwe, B.; Six, J.; Lelei, D.; Kibunja, C.; Pulleman, M. 2011. Soil fertility management: impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Appl. Soil Ecol.* 48: 53-62.
3. Bautista-Cruz, A.; Cruz Domínguez, G.; Rodríguez Mendoza, M. de las N.; Pérez Pacheco, R.; Robles, C. 2014. Effect of compost and slow-release fertilizers addition on soil biochemistry and yield of maize (*Zea mays* L.) in Oaxaca, Mexico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(1): 181-193.
4. Blanchart, B.; Albrecht, A.; Brown, G.; Decaëns, T.; Duboisset, A.; Lavelle, P.; Mariani, L.; Roose, E. 2004. Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion. *Review Agriculture, Ecosystems and Environment.* 104: 303-315.
5. Bossuyt, H.; Six, J.; Hendrix, P. 2006. Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon. *Geoderma.* 130: 14-25.
6. Bouche, M. B. 1977. Stratégies lombriciennes. In: Lohm, U.; Persson, T. (Eds.), *Soil Organisms as Components of Ecosystems.* Ecological Bulletin, Stockholm. p. 122-132.
7. Bradford, M. A.; Tordoff, G. M.; Black, H. I. J.; Cook, R.; Eggers, T.; Garnett, M. H.; Grayston, S. J.; Hutcheson, K. A.; Ineson, P.; Newington, J. E.; Ostle, N.; Sleep, D.; Stott, A.; Jones, T. H. 2007. Carbon Dynamics in a model grassland with functionally different soil communities. *Functional Ecology.* 21: 290-697.
8. Bronick C. J.; Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma.* 124:3-22
9. Brown, G.; James, S. W.; Pasini, A.; Nunes, D.; Norton, P. B.; Trigo Martins, P.; Sautter, K. 2006. Exotic, peregrine, and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution, and effects on soils and plants. *Caribbean Journal of Science.* 42(3): 339-358.

10. Capowiez, Y.; Samartino, S.; Cadoux, S.; Bouchant, P.; Richard, G.; Boizard, H. 2012. Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. *Soil Biology & Biochemistry*. 55: 93-103.
11. Carnovale, D.; Baker, G.; Bissett, A.; Thrall, P. 2015. Earthworm composition, diversity and biomass under three land use systems in south-eastern Australia. *Applied Soil Ecology*. 88 : 32-40.
12. Di Ciocco, C. A.; Sandler, R. V.; Falco, L. B.; Coviella, C. E. 2014. Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(1): 73-85.
13. Doran, J. W.; Parkin, B. T. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. *Soil science society of America, Inc. Special Publication*. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
14. Edwards, C. A.; Lofty, J. R. 1977. Biology of earthworms, in: Chapman and Hall, CA, (Eds.) *Earthworm Ecology*. Boca Raton: St. Lucie Press. p. 213-29.
15. Edwards, W. M.; Shipitalo, M. J.; Traina, S. J.; Edwards, C. A.; Owens, L. B. 1992. Role of *Lumbricus terrestris* (L.) burrows on quality of infiltrating water. *Soil Biology & Biochemistry*. 24: 1555-1561.
16. Eltaif, N. I.; Gharaibeh, M. A. 2009. Aggregation of undisturbed soil mesocosms inoculated by earthworm after different cultivation-tillage systems. *Soil & Tillage Research*. 106: 104-106.
17. Ester, A.; van Rozen, K. 2002. Earthworms (Aporrectodea spp.; Lumbricidae) cause soil structure problems in young Dutch polders. *European Journal of Soil Biology*. 38: 181-185.
18. Falco, L. B.; Momo, F. R.; Craig, E. B. 1995. Asociaciones de lombrices de tierra y su relación con la cobertura vegetal en suelos forestados. *Revista Chilena de Historia Natural*. 68: 523-528.
19. Falco, L.; Momo, F.; Mischis, C. 2007. Ecología y Biogeografía de las lombrices de tierra en la Argentina. In *Minhocas na América Latina: Biodiversidade e Ecologia*. Ed. G.G. Brown e C. Fragoso. Londrina EMBRAPA SOJA. Brasil. ISBN 978-85-7033-019-2. 545 p.
20. Falco, L.; Momo, F. 2010. Selección de Hábitat: efecto de la cobertura y tipo de suelo en lombrices de tierra. *Acta Zoológica Mexicana*. Nro. Especial. 2: 179-187.
21. Felten, D.; Emmerling, C. 2011. Effects of bioenergy crop cultivation on earthworm communities- A comparative study of perennial (*Miscanthus*) and annual crops with consideration of graded land-use intensity. *Applied Soil Ecology*. 49: 167-177.
22. Fragoso, C.; Brown, G.; Patrón, J. C.; Blanchart, E.; Lavelle, P.; Pashanasi, B.; Senapati, B.; Kumar, T. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology*. 6 : 17-35.
23. Giannopoulos, G.; Pulleman, M.; Van Groenigen, J. W. 2010. Interactions between residue placement and earthworm ecological strategy affect aggregate turnover and N2O dynamics in agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 42: 618-625.
24. Gil, R. 2002. Algunos criterios para la cuantificación y diagnóstico del comportamiento estructural del suelo, y su relación con la dinámica del agua y la producción de los cultivos. *El Comportamiento Físico-Funcional de los Suelos*. Proyecto Nacional Agricultura de Precisión. INTA Manfredi.
25. Hedde, M.; Bureau, F.; Delporte, P.; Cécillon, L.; Decaëns, T. 2013. The effects of earthworm species on soil behaviour depend on land use. *Soil Biology & Biochemistry*. 65: 264-273.
26. Jouquet, P.; Bottinelli, N.; Podwojewski, P.; Hallaire, V.; Toan Tran, Duc. 2008. Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. *Geoderma*. 146: 231-238.
27. Jouquet, P.; Zangerlé, A.; Rumpel, C.; Brunet, D.; Bottinelli, N.; Tran Duc, T. 2009. Relevance of the biogenic and physicogenic classification. A comparison of approaches to discriminate the origin of soil aggregates. *European Journal of Soil Science*. 60: 1117-1125.
28. Jouquet, P.; Huchet, G.; Bottinelli, N.; Doan Thu, T.; Tran Duc, T. 2012. Does the influence of earthworms on water infiltration, nitrogen leaching and soil respiration depend on the initial soil bulk density? A mesocosm experiment with the endogeic species *Metaphire posthuma*. *Biol Fertil Soils*. 48: 561-567.
29. Jouquet, P.; Bottinelli, N.; Kerneis, G.; Henry-des-Tureaux, T.; Thuy Thu, Doan; Planchon, O.; Toan Duc, Tran. 2013. Surface casting of the tropical *Metaphire posthuma* increases soil erosion and nitrate leaching in a laboratory experiment. *Geoderma*. 204-205: 10-14.

-
30. Lee, K. E. 1985. Earthworms. Their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, London. p. 411.
 31. Lee, K. E. 1987. Peregrine species of earthworms. In *On Earthworms*. A. M. Bonvicini Pagliai, P. Omodeo (Eds.), Mucchi Editore, Modena. p. 315-328.
 32. Liiri, M.; Häsä, M.; Haimi, J.; Setälä, H. 2012. History of land-use intensity can modify the relationship between functional complexity of soil fauna and soil ecosystem services. A microcosm study. *Applied Soil Ecology*. 55: 53-61.
 33. Marinissen, J. C. Y. 1994. Earthworm populations and stability of soil structure in a silt loam soil of a reclaimed polder in the Netherlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 51: 75-87.
 34. Marinissen, J. C. Y.; Dexter, A. R. 1990. Mechanisms of stabilization of earthworm casts and artificial casts. *Biology and Fertility of Soils*. 9: 163-167.
 35. Mischis, C. 2004. Las lombrices de tierra de Argentina: aspectos faunísticos y biogeográficos. In: *Avances en taxonomía de lombrices de tierra*. Ed. Moreno, A. y Borges, S. Editorial Complutense S.A. Madrid.
 36. Momo, F. R.; Giovanetti, C. M.; Malacalza, L. 1993. Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) y algunos parámetros físicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. *Ecología Austral*. 3: 7-14.
 37. Momo, F.; Falco, L. B.; Craig, E. B. 2003. Las lombrices de tierra como indicadores del deterioro del suelo. *Revista de Ciencia y Tecnología Serie Científica*. 8: 55-63.
 38. Moreno Reséndez, A.; Rodríguez Dimas, N.; Reyes Carrillo, J. L.; Márquez-Quiroz, C.; Reyes González, J. 2014. Comportamiento del chile Húngaro (*Capsicum annum*) en mezclas de vermicompost- arena bajo condiciones protegidas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(2): 97-111.
 39. Morrás, H. 2008. El suelo, la delgada piel del planeta. *Ciencia Hoy*. (18)103: 22-27.
 40. Mummey, D.L.; Rillig, M.; Six, J. 2006. Endogeic earthworms differentially influence bacterial communities associated with different soil aggregate size fractions. *Soil Biol. Biochem*. 38: 1608-1614.
 41. Pérès, G.; Bellido, A.; Curmi, P.; Marmonier, P.; Cluzeau, D. 2010. Relationships between earthworm communities and burrow numbers under different land use systems. *Pedobiología*. 54: 37-44.
 42. Porta, J.; López Acevedo, M.; Roquero, C. 1999. Edafología. Para la Agricultura y el Medio Ambiente. 2ª Edición. Mundi-Prensa.
 43. Riley, H.; Pommeresche, R.; Ragnar, E.; Sissel, H.; Korsæth, A. 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 124: 275-284.
 44. Satchell, J. E. 1967. Lumbricidae. In: *Soil biology*. Burges, A., Raw, F. (Eds) Academic Press.
 45. Scullion, J.; Malik, A. 2000. Earthworm activity affecting organic matter, aggregation and microbial activity in soils restored after opencast mining for coal. *Soil Biology & Biochemistry*. 32: 119-126.
 46. Shaw, C.; Pawluk, S. 1986 b. The development of soil structure by *Octolasion tyrtaeum*, *Aporrectodea turgida* and *Lumbricus terrestris* in parent materials belonging to different textural classes. *Pedobiología*. 29: 327-339.
 47. Shipitalo, M. J.; Protz, R. 1988. Factors influencing the dispersibility of clay in worm casts. *Soil Science Society of America Journal*. 52: 764-769.
 48. Shipitalo, M. J.; Protz, R. 1989. Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. *Geoderma*. 45: 357-374.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to acknowledge the collaboration of students Agustina Ansa and Loreta Gimenez for their lab assistance.

The help of Martin Gerry in the revision of the English of the last draft of this manuscript is also greatly appreciated. This research was funded by Universidad Nacional de Luján.

The comments by two anonymous reviewers greatly improved the final version of this work.

Diagnóstico ambiental en la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe

Environmental diagnosis in the farming belt of Santa Fe city

Alejandra Durán ¹, Marta Paris ², María Inés Maitre ¹, Fernanda Marino ¹

Originales: *Recepción*: 24/12/2014 - *Aceptación*: 29/09/2015

RESUMEN

El cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe se ubica en el norte del ejido urbano. En dicha zona la provisión de agua se realiza con perforaciones domiciliarias que conviven con pozos negros y tareas. Las actividades que se desarrollan representan importantes amenazas de contaminación. Además el peligro de contaminación podría incrementarse por un aumento de la vulnerabilidad, dada por el ascenso de los niveles de agua subterránea y/o aumento de la capacidad de transporte de contaminantes al ambiente subterráneo, provocado por inundaciones fluviales o pluviales. El diagnóstico ambiental que aquí se presenta fue elaborado sobre la base de estudios antecedentes, entrevistas, encuestas y relevamientos de campo, muestreos y análisis de laboratorio. Se caracterizaron prácticas agrícolas y actividades que se desarrollan en la zona, asignándoles una categoría según la amenaza de contaminación del agua subterránea. Se relevó especies cultivadas, agroquímicos, riego, aspectos socioculturales, forma de vida de los habitantes y características relacionadas con el saneamiento, utilización del recurso y compromiso con el ambiente por parte de la población. Sobre la base de los resultados obtenidos se plantean algunos lineamientos de gestión y protección del recurso hídrico subterráneo, orientados al desarrollo ambientalmente sostenible de la zona.

Palabras clave

aguas subterráneas • agroquímicos • horticultura • contaminación

-
- 1 Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (UNL-CONICET). Güemes 3450 (3000) Santa Fe. aduran@santafe-conicet.gov.ar
 - 2 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral (UNL). Ciudad Universitaria (3000) Santa Fe. parismarta@gmail.com

ABSTRACT

The farming belt of Santa Fe city is located North of the urban area. There is no water supply or sewer system in the area. Water is withdrawn from private wells drilled in households, coexisting with septic tanks and orchards. The activities developed constitute serious contamination threats; contamination hazards could increase due to a rise in the levels of groundwater and/or fluvial or rain floods. The environmental diagnosis presented was made gathering information from previous research studies, interviews to professionals, surveys among producers, as well as by field and laboratory analysis. Agricultural practices, cultivated species, agrochemicals use and irrigation practices, as well as socio-cultural aspects, residents' lifestyle and characteristics related to drainage, use of resources and commitment to the environment by the population were reported. On the basis of the results obtained, some guidelines for the management and protection of the groundwater resources are outlined, in order to contribute to an environmentally sustainable development of the region.

Keywords

groundwater • agrochemicals • farming • contamination

INTRODUCCIÓN

Se entiende por ambiente a la composición de dos sistemas (o subsistemas): uno de carácter natural y el otro que agrupa a los componentes que derivan de la actividad antrópica. Así, puede decirse que la interacción dinámica entre ambos subsistemas constituye el sistema ambiental, por lo que puede considerarse al ambiente como el sistema global constituido por elementos naturales y artificiales, de naturaleza física, química, biológica, sociocultural, política, económica, etc. y de sus interrelaciones. Estas se encuentran en permanente modificación por la acción humana o natural, que rige o condiciona la existencia o desarrollo de la vida, incluidas las circunstancias y condiciones en que se dan las interrelaciones entre todos los factores (3). Con este enfoque, se presenta la problemática investigada focalizando en los aspectos hídricos de la ciudad de Santa Fe y en las actividades que se desarrollan en el medio rural donde se ubica dicha área.

El sistema natural

La ciudad de Santa Fe (departamento La Capital) es la capital política y administrativa de la Provincia de Santa Fe (Argentina). Ubicada a 31°34' de latitud sur y 60°4' de longitud oeste, en el centro-este de la Argentina, pertenece a la región geográfica llamada llanura chaco-pampeana (figura 1, pág. 131).

La escasa pendiente del terreno hace difícil el escurrimiento superficial de las aguas, con la correspondiente formación de lagunas, arroyos y bañados. Además, que se encuentra emplazada a orillas del río Salado y de la laguna Setúbal, ambos tributarios del río Paraná, que ejercen influencia no solo en el clima, sino además suelen provocar inundaciones recurrentes en la región. Se la puede considerar como una de las ciudades del mundo con mayor criticidad hídrica.

El distrito en cuestión se puede definir como una zona o valle aluvial, donde una de las características físicas fundamentales es el relieve plano deprimido (13).

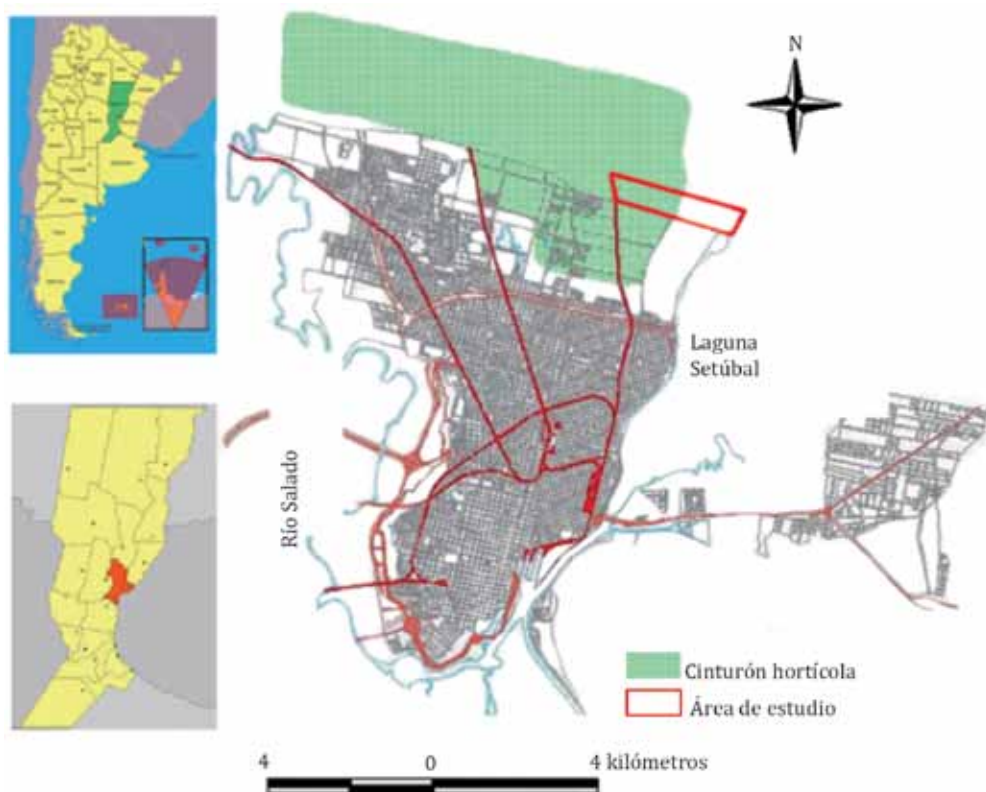


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Figure 1. Location of the studied area.

Los límites de la ciudad son: al este, el río Paraná; al oeste, el río Salado; al norte, la ciudad de Recreo y al sur, los ríos Santa Fe y Salado.

Climatológicamente, la ciudad de Santa Fe se ubica en una región templado-húmeda, con una temperatura media anual de 19,7°C y una precipitación media anual del orden de los 900 a 1200 mm; la humedad relativa es de 71% a 83% y los vientos predominantes son de los sectores S, E y NE con una velocidad media anual de 12,2 km/h (16, 17).

Según el mapa de suelos de la Provincia de Santa Fe (9), la ciudad se ubica dentro de la Unidad 20, compuesta

por una asociación de Argiudoles típicos, Argiudoles ácuicos y Argioboles típicos. La geología y la geomorfología del área son muy complejas.

La porción acuífera en explotación es un estrato ubicado a los 28 m de profundidad, constituido por arenas (desde finas a gruesas) y arenas gravosas de 20 a 35 m de espesor, sobre los cuales se apoyan otros cuerpos sedimentarios de granulometría más fina (arenas finas a limos, limos arcillosos hasta aproximadamente los 4,30 m, ocasionalmente seguido por una arcilla limosa o arcilla plástica hasta los 8,0 m de profundidad) (5, 6).

El área seleccionada para este estudio forma parte de este cinturón hortícola ubicado en el norte de la ciudad de Santa Fe (Provincia de Santa Fe, Argentina).

El sistema social

El área de estudio puede ser considerado como un cinturón rural urbano. La producción de dicho cinturón hortícola permite cubrir la demanda de estos productos a una importante área.

La densidad de población de la zona es muy baja. Una parte de la población es de tipo rural permanente y otra es no permanente (familias que poseen casas y quintas de fin de semana). La zona no cuenta en general con servicio de agua potable ni de cloacas. Los establecimientos se abastecen a través de perforaciones domiciliarias. Solo el sector de El Chaquito cuenta con distribución de agua potable por parte de la comuna (a partir de una explotación subterránea) (8).

La horticultura en esta zona comienza su desarrollo a fines del siglo XIX, cuando se inician las primeras "quintas" en lo que hoy son sectores urbanizados al norte de la ciudad de Santa Fe. A partir de la década del '60, un grupo de migrantes bolivianos consolidaron su permanencia temporaria y se establecieron junto a sus familias (21). Si bien históricamente la zona fue rural con una fuerte impronta en la horticultura, cambios sociales y de uso del suelo fueron propiciando cambios en la producción (15, 23).

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue realizar un diagnóstico ambiental en la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe y, sobre la base de los resultados obtenidos, definir estrategias de gestión y protección de las aguas subterráneas que contribuyan al desarrollo ambientalmente sostenible.

METODOLOGÍA

El peligro de contaminación del agua subterránea se define como la probabilidad que un acuífero experimente impactos negativos a partir de una actividad antrópica. Un enfoque lógico y aceptado sobre el peligro de contaminación del agua subterránea es considerarlo como la interacción entre la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero -consecuencia de las características naturales de los estratos que lo separan de la superficie del suelo-, y la carga contaminante que se aplica, o que podría ser aplicada en el medio subterráneo, como resultado de la actividad humana (10).

De acuerdo con investigaciones antecedentes (6), en las proximidades del área de estudio, la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero resulta ubicarse entre media y alta. A fin de validar esta caracterización para el área de estudio, con el mismo método GOD empleado por el autor de la referencia anterior, se analizaron los perfiles litológicos del área. Posteriormente, se elaboró las columnas litológicas con el programa SC Perfiles (22), para evidenciar posibles cambios en el espesor de los estratos geológicos que componen el mismo acuífero libre.

La caracterización de la amenaza dada por la carga contaminante se realizó utilizando el método POSH (Pollutant Origen e Hydraulic Surchage) (10). Se evaluó la carga contaminante a partir de la elaboración de un inventario. El peligro de contaminación se estimó combinando las categorías definidas para la vulnerabilidad y la amenaza.

El diagnóstico ambiental se realizó a partir del registro de las actividades que se desarrollan en la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe.

A tal fin se efectuaron varios relevamientos de campo entre abril de 2011 y octubre de 2012, cuando se relevaron las particularidades fisiográficas y sociales de la zona. Se detectaron las áreas más y menos densamente pobladas, las extensiones cultivadas y detalles relacionados con las actividades y servicios.

Se tomó fotografías y se observó las prácticas de la zona (riego, fumigación, tipo de cultivos, formación de mini basurales), como también, otros datos y referencias que resultaron de interés. Se realizó encuestas a productores y entrevistas a profesionales de distintas áreas del conocimiento y actores de diferentes ámbitos.

Se tomó doce muestras de agua en los 9 establecimientos emplazados en el área de estudio. Se analizó algunos parámetros físico-químicos (sólidos totales, conductividad eléctrica, alcalinidad total, dureza total, cloruros, pH, nitratos) y plaguicidas (clorados y organofosforados). Los demás análisis se determinaron para tener una caracterización básica en cuanto a los parámetros físico-químicos de la calidad del agua.

Las restantes determinaciones analíticas de parámetros físicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) según las técnicas indicadas en, APHA, AWWA, WEF (24), excepto para la determinación de nitratos, para lo que se utilizó la técnica publicada en Rodier (1981). Las determinaciones de plaguicidas se realizaron en el Grupo del Medio Ambiente de Instituto Nacional de Tecnología para la Industria Química (INTEC, CONICET-UNL).

Los plaguicidas analizados fueron: lindano, heptacloro, heptacloro epoxi, endosulfan I, endosulfan II, pp-DDE, endrin,

Op-DDT, pp-DDT, trifloxiestrobulina, endosulfan sulfato, DDVP, diazinon, metilclorpirifos, metilpirimifós, etilclorpirifós, malatión y etilparatión.

El presente trabajo enfoca su atención en los contaminantes, principalmente compuestos nitrogenados y agroquímicos, provenientes de las actividades hortícolas desarrolladas en la zona de estudio y de prácticas socioculturales de la zona (9).

El nitrato constituye un indicador adecuado para estimar el nitrógeno proveniente tanto de la aplicación de agroquímicos nitrogenados como de los efluentes domiciliarios (1, 2, 7, 11, 14).

Se georreferenció las actividades productivas, sitios de muestreo y otros puntos de interés, utilizando un GPS (Garmin, Etrex vista), la plataforma ArcView GIS 3.2 y el plano catastral disponible.

Se efectuó un relevamiento y evaluación de la normativa legal vigente tanto a nivel nacional, como provincial y comunal. Para el presente trabajo se contempló el cuerpo normativo que hace referencia tanto a temas específicos relacionados con el agua, otras normas más generales que atañen a la protección de los recursos, e incluso algunas que se relacionan con el uso de agroquímicos o productos fitosanitarios.

RESULTADOS

Reconocimiento de campo

La figura 2 (pág. 134) muestra la principal información relevada en las distintas recorridas de campo. Las calles, en general, son de tierra bien afirmada y se observó cunetas para desagüe pluvial en todo el recorrido. En muchos sectores se observa la alternancia de zonas de quinta de distinta extensión, con monte nativo joven y algunas áreas deprimidas.

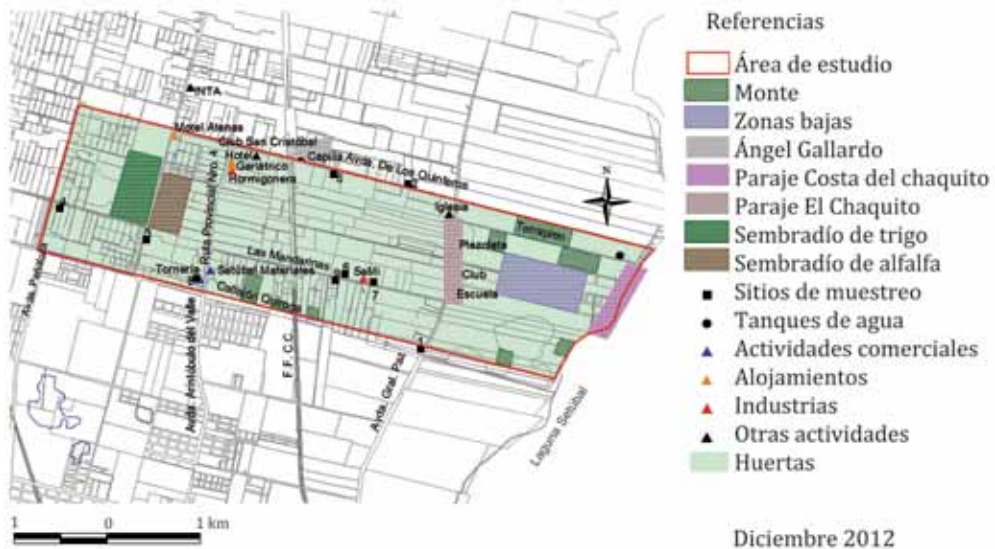


Figura 2. Ubicación de los principales sitios relevados.

Figure 2. Location of the main places relieved.

En abril de 2011, se observó cultivos de: lechuga, tomate, repollo, otras verduras de hoja, maíz (en escasa extensión) y soja con distinto grado de crecimiento. Un relevamiento posterior mostró también sectores menores con cultivos de trigo y alfalfa. La tabla 1 (pág. 135) presenta la información obtenida sobre las características de la infraestructura sanitaria en relación con las perforaciones para abastecimiento y pozos negros domiciliarios.

Vulnerabilidad, amenaza y peligro de contaminación del acuífero

Las mediciones realizadas en el piezómetro ubicado en la Agencia de Extensión Rural de Ángel Gallardo durante los relevamientos de campo dan cuenta que la profundidad total de la perforación fue de 3,59 m y la profundidad de agua de 2,41 m (medición realizada en junio de 2012). Esto indica que el índice D (método GOD) adquiere el valor de 0,9 para el área. Así, la

vulnerabilidad del acuífero en la zona de estudio resulta: $G = 1,0$; $O = 0,5$; $D = 0,9$; $GOD = 0,45$. Esto es, una vulnerabilidad alta, lo que valida los resultados aportados por las investigaciones antecedentes. Significa que el acuífero es vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados en muchos escenarios de contaminación) (10).

Dos fuentes principales aportarían a la contaminación en el área: agroquímicos y descargas domiciliarias. Una eventual contaminación por nitratos provendría de ambas. Dichas fuentes potenciales de contaminación provienen de las actividades agrícolas y de la falta de saneamiento; la amenaza de contaminación se encuentra en la categoría elevada (según Pollutant Origin Surcharge Hydraulically). La composición de esta amenaza con el índice de vulnerabilidad GOD hallada para el acuífero (alta) evidencia un peligro de contaminación alto (8).

Tabla 1. Perforaciones para abastecimiento y pozos negros.**Table 1.** Wells drilled in households and septic tanks.

N° de establecimiento	Cantidad de perforaciones	Cantidad de pozos negros	Distancia (aprox.) entre la perforación y el pozo negro (m)	Profundidad de la perforación (m)	Antigüedad de la perforación	Tipo de bomba
1	2	1	30	18	3 años	Centrífuga
2	4	1	8	6/15-30	'67/2011	Centrífuga
3	4	3	16	16/24	'60/2011	Centrífuga
4	6	4	15	16/28	'80/2000	Centrífuga y manual
5	2	1	-	-	*	Centrífuga con correa, bombeador manual
6	-	-	-	-	-	Centrífuga
7	2	1	12	22	3 años	Centrífuga
8	3	1	15	25-28	S/D	Centrífuga
9	1	0	-	S/D	S/D	Centrífuga

Prácticas agrícolas, disposición de envases y residuos y uso de agroquímicos

Según resulta de las encuestas realizadas en la zona, la técnica de riego más utilizada es por surco.

Respecto del riego por goteo, la gente refiere a que "algo se hace en esta zona, pero en un porcentaje muy bajo; es el sistema de riego más eficiente desde el punto de vista de la utilización del agua". Todos los productores encuestados coinciden en señalar que se riega "según necesidad".

La forma de labranza en la zona de quintas es la convencional; se realiza en forma manual (zapata para abrir surcos) o con tractor y arado de disco. En los lotes destinados al cultivo de cereales se realiza siembra directa. Los establecimientos están muy poco tecnificados. Las fumigaciones se realizan en su totalidad con mochila y eventualmente con "mosquito" en las explotaciones de mayor superficie.

Las aplicaciones se efectúan "según la necesidad y como venga el cultivo" (datos provenientes de las encuestas).

Respecto de los fertilizantes, los más utilizados son la urea y la "cama de pollo" (abono orgánico compuesto por excremento de pollo).

En general, se observó que los productos fitosanitarios son almacenados bajo techo, en lugares cerrados o semi cerrados, a cierta distancia de las casas, algunos sobre tierra directamente y otros sobre un piso o contrapiso.

Respecto de la disposición de envases de productos fitosanitarios, los productores encuestados no realizan la técnica del triple lavado, aunque la mayoría tiene al menos una vaga idea del mismo.

Las encuestas indican que la mayor parte de los envases se queman o entierran, y que unos pocos son lavados y reusados con distintos fines (almacenamiento de combustible, por ejemplo). Actualmente muchos de los productos que se utilizan vienen envasados en bolsas plásticas. Estas bolsas son desechadas con el resto de los residuos generados, dentro de lo que se considera como residuos domésticos.

En general, los agroquímicos se utilizan sin ningún tipo de indicación o asesoramiento, más allá de una mínima sugerencia sobre la dosificación por parte de los empleados de los comercios donde habitualmente se compran los productos. Los de uso más frecuente son: cipermetrina, lambda cialotrina, clorpirifos, dimetoato, trifluoralina, metacloro, endosulfán, metamidifos, imidacloprid, sulfato de estreptomycin, mancozeb, zineb y abamectina, según lo consultado directamente a los productores a través de las encuestas, quienes además agregaron que "de vez en cuando se usa alguno de los prohibidos".

El grado de cumplimiento de la Ley Provincial de Fitosanitarios es nulo, por parte de todos los sectores involucrados.

Muchos productores participan en el Programa Cambio Rural del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Quienes lo hacen, tienen la posibilidad de ser informados por un profesional sobre el uso de los agroquímicos. En general no se hace abuso de ellos, ya que esto implica mayores costos.

Es interesante resaltar los comentarios de algunos productores; uno de ellos mencionó que la fumigación de los lotes de trigo y soja de los vecinos de la zona, "ayuda a las quintas", ya que los efectos se extienden hacia otras explotaciones. "Ahora se usa como mucho el 20% de lo que se usaba antes".

Sin embargo, este dato da cuenta también de la importancia que está tomando la producción de cereales en desmedro de la producción hortícola. Este comentario, además, pone en evidencia que los cultivos de quinta están siendo alcanzados por agroquímicos, pero sin saber exactamente las características cuali y cuantitativas de dichas fumigaciones. Otro productor puso de manifiesto el impacto de los agroquímicos en el ambiente y su relación con el cambio en el tipo de cultivos, al manifestar: "desde que en la zona ya casi no se hace tomate, volvieron a verse sapos y mariposas; eso es porque con el tomate se usa mucho remedio".

Los fitosanitarios utilizados son principalmente biocidas (84,59%), fertilizantes (11,62%) y coadyuvantes adicionales (3,78%). Además, es importante destacar que en aproximadamente el 50% de los establecimientos productores se utiliza solo pesticidas, en tanto que en el restante 50% también se usan los fitosanitarios como abono foliar (30,89%), adherente (10,57%), y urea y abono orgánico³ (1,63%).

Según el grupo químico del principio activo los pesticidas utilizados son: carbamatos (42,22%); organofosforados (15,57%); piretroides (18,56%); sales de cobre (8,38%); fosfito (3,59%) y organoclorados, triazinas, dinitroanilinas, urea sustituida, tiadiazinonas y benzamida, ftalonitrilos, entre otras, para el 11,68% restante. Es importante destacar la gran diversidad de agroquímicos aplicados en la zona y que algunos de los más utilizados están severamente restringidos o prohibidos, por ejemplo el carbofuran (Sanidad Vegetal. Res. 10/91); o el metamidofos. Este último es uno de los organofosforados de más alto riesgo (Sanidad Vegetal Resol. 127/98) y restringido para formulaciones de hasta 600 g/l con inclusión de folleto de uso y manejo seguro según SENASA Resol. Jefatura N° 028-99 (20).

Los resultados de análisis sobre las muestras ensayadas revelan que si bien en algunos pozos se han detectado nitratos, en ningún caso exceden los niveles guía fijado (tanto los límites y valores establecidos por la Ley Provincial 11.220 como por el Código Alimentario Argentino). Respecto del resto de los ensayos físico-químicos, los valores

hallados también se encuentran por debajo de los niveles guía (pH, alcalinidad total, dureza total, sólidos totales y conductividad). No obstante, algunas muestras manifestaron presencia de plaguicidas (endosulfán, lindano y estrobilurina). La tabla 2 presenta los valores de concentración de plaguicidas en las muestras, cuando estos superan el límite de detección de la técnica.

Los datos recopilados en las encuestas a los productores aportan datos similares en cuanto a los insecticidas utilizados (cipermetrina, ciamidifos, metamidifos, clorpirifos, nanofos, imidacloprid, imax, dual gol, yogen, agrimicina, trifluorallina, mansate, zineb, foliar, abamectina) aunque no fue posible estimar sus cantidades.

Aspectos sociales y cambios de uso del suelo

La horticultura en esta zona comienza su desarrollo a fines del siglo pasado, cuando se inician las primeras "quintas" en lo que hoy son sectores urbanizados de la ciudad de Santa Fe. Por aquel tiempo, la actual zona de quintas estaba ocupada por explotaciones mixtas y tambos.

Tabla 2. Plaguicidas detectados en las muestras de agua subterránea.

Table 2. Pesticides found in groundwater samples.

Muestra	Lindano (ng/L)	Endosulfán I (ng/L)	Endosulfán II (ng/L)	Estrobilurina (ng/L)
1 casa	-	169,0	211,9	-
2 campo	4,2	36,8	75,6	398,7
2 casa	-	52,4	36,6	-
3 casa	-	36,6	-	-
3 riego	-	25,6	46,0	-
4	11,2	43,9	21,5	-
6	-	19,1	-	-
9	-	27,2	-	-

La mano de obra era familiar y en pocas ocasiones se ocupaban peones jornalizados. En general, se trataba de familias de inmigrantes principalmente italianos, españoles y alemanes.

Las "quintas" tenían una superficie de 5 a 6 ha, y de hasta 10 ha las más grandes. Los cultivos que se realizaban eran: acelga, remolacha, papa, zanahoria, chaucha, batata, cebolla de cabeza, entre otras.

En 1913 se comienza con el cultivo de la frutilla, llegando a tener gran importancia en la zona hasta los años 1935-40, cuando comienza a ser reemplazada por el tomate (21).

Con el correr de los años, la ciudad fue extendiéndose hacia el norte, como también lo hicieron las quintas, hasta ocupar el área actual.

El tomate constituyó durante muchos años el principal cultivo, llegando a cultivarse más de 1.000 ha. La zona era incluso una de las principales proveedoras de miso al mercado de Buenos Aires. Este cultivo, el zapallito y la chaucha constituían la principal fuente de ingreso de los productores (4).

Según información suministrada por el Centro Operativo Ángel Gallardo (del Ministerio de la Producción de la Provincia de Santa Fe), en el cinturón hortícola de Santa Fe (Distritos Ángel Gallardo, Monte Vera, Recreo y norte de Santa Fe), en 2001 el número de productores hortícolas era de aproximadamente 250, cultivándose regularmente 3.200 ha. Hacia el año 2004, la superficie cultivada era de poco más de 2.000 ha.

Una gran parte de la superficie cultivada está destinada a la producción de: lechuga, achicoria y rúcula, tomate, pimiento, repollo, brócoli, coliflor, acelga, espinaca, zapallito, calabacita, zapallo, pepino, remolacha, rabanito, batata, puerro, perejil, verdeo, chaucha, berenjena y cebolla blanca.

Un número minoritario de productores se dedica al cultivo de plantas aromáticas y ornamentales.

Actualmente, el tomate, junto con el apio, la chaucha y el zapallito, es uno de los cultivos que más disminuyeron en cuanto a superficie cultivada, siendo uno de los motivos la baja rentabilidad del mismo en los últimos años (4).

Merece señalarse además, que los diversos fenómenos climáticos (inundaciones en 2003 y 2007) y económicos (disminución de la demanda, precios de manera sostenida, las condiciones del mercado cambiario, nuevas regulaciones, etc.) tienen una notable influencia en este sector productivo, lo que induce a cambios de prácticas aplicadas y de agroquímicos utilizados.

Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (4), algunos resultados que se produjeron como consecuencia de dichos cambios, son: importante disminución del número de productores (23%); incremento del número de productores con menos de 5 ha (60%); disminución del número de productores con superficies superiores a 5 ha (54%); el número de productores con menos de 2 ha se incrementó en un 580% (de 6 a 41 productores); la superficie promedio por explotación disminuyó de 10,7 a 7,3 ha (32%); la superficie hortícola disminuyó de 3.174 ha a 1.687 ha (47%); la superficie con hortalizas anuales disminuyó de 3.553 ha a 1.939 (45%); la relación superficie hortícola/superficie total disminuyó de 0,87 a 0,65; se produjo un incremento de la mano de obra familiar a nivel de quinta y la disminución de otras modalidades: peones permanentes, temporarios y medieros; se incrementó la modalidad de venta en mercado de Santa Fe (67% a 83%) y en especial la venta en puesto.

Actualmente, la composición social del área de estudio está constituida en su gran mayoría por familias arraigadas hace tiempo en la zona, que ejercen como principal actividad económica la horticultura. Un núcleo importante de bolivianos asentados desde la década del '60 se iniciaron también en esta actividad y sus descendientes siguieron con ella, al tiempo que nuevos familiares fueron llegando de ese vecino país (21).

Los lugareños que no son de origen boliviano ("los gringos", tal como ellos mismos se nombran) contratan mano de obra que hasta hace un tiempo atrás era predominantemente de origen boliviano, solo cuando lo requieren. Sin embargo, cada vez lo hacen en menor medida, ya que es difícil encontrar gente interesada en trabajar en las quintas. Por otro lado, las familias bolivianas han comenzado desde hace ya algún tiempo, y sobre la base de un importante esfuerzo, a adquirir tierras, y comúnmente participa en la producción toda la familia.

La mayoría de los quinteros están en actividad desde hace 30 a 50 años, lo que muestra una falta de recambio generacional y la ausencia de una línea sucesoria. Los jóvenes de estas familias propietarias buscan otras oportunidades fuera de las quintas, tanto laborales como profesionales.

Se advierte en el área, una escasa incorporación de tecnología, tanto para la producción como en la calidad de las hortalizas obtenidas, también se manifiesta la ausencia de un sistema de comercialización eficiente y creciente.

Existe gran preocupación entre los productores por la indefinición de la situación legal de la mano de obra y de los costos para su contratación. También en cuanto al recambio generacional y a la continuidad de las explotaciones hortícolas, resaltándose el hecho de no poder

invertir en tecnología que permita lograr buenos cultivos e incluso productos que puedan tener acceso a otros mercados, nacionales e internacionales.

Ningún productor forma parte de una cooperativa ni asociación, y si bien aproximadamente la mitad de los encuestados indicó participar de la Sociedad de Quinteros, ninguno de ellos tiene una participación activa o efectiva, sino más bien, se acercan a la misma muy esporádicamente y por alguna cuestión puntual.

Los productores usualmente tampoco se acercan al INTA, Estación Experimental Ángel Gallardo, ubicada en la zona, en busca de asesoramiento. En general se muestran desconfiados y están más preocupados por las urgencias cotidianas. Sin embargo, el INTA se acerca a los productores a través de distintos programas, charlas y actividades, tal como ocurre con el Programa Cambio Rural, lo que en definitiva permite que se produzca algún tipo de acercamiento, con un beneficio importante para los productores.

Con los cambios sociales y económicos surgieron cambios en el uso del suelo. Así, esta zona que fuera hasta hace algunas décadas atrás netamente hortícola, fue incorporando otros cultivos como maíz, soja y en menor medida trigo y alfalfa. Excepto un productor, todos los encuestados cultivan verduras de hoja, principalmente lechuga, rúcula, achicoria, acelga, perejil, verdeo, puerro, repollo, espinaca, y zapallo, zapallito y remolacha, coliflor y brócoli. El tradicional cultivo de tomate que caracterizaba a la zona hasta hace algunos años, fue prácticamente eliminado ya que requiere "mucho remedio y mano de obra", en palabras de uno de los productores encuestados.

Relación de la población con cuestiones ambientales

Las encuestas revelan que los productores tienen algunas nociones respecto de las buenas prácticas en horticultura, saben de qué se trata y también hay información disponible, pero lo ven como una pérdida de tiempo o como "algo que no va a funcionar". Queda evidenciado cuando se conversa con ellos, que no tienen una comprensión conceptual de lo que ello significa. No se aprecia mucho interés en cuestiones ambientales, o muchas veces no tienen dimensión del alcance de las mismas. Sus preocupaciones pasan por cuestiones más inmediatas. Sin embargo, todos tienen conciencia de la importancia de cuidar los recursos, aunque a veces no vislumbran las consecuencias que podrían acarrear no tomar recaudos. El hecho de vivir en el medio rural y la actividad que realizan los hace muy observadores del entorno, y lo que les permite notar cambios con el correr de los años.

La población de esta zona (en general) se podría mostrar abierta a realizar algunos cambios tendientes a mejorar su relación con el ambiente e incorporar nuevas prácticas y conocimientos en pos del cuidado del ambiente. Desde el INTA Estación Experimental Ángel Gallardo, durante el año 2011 se realizaron charlas informativas con una asistencia aceptable y se trabaja constantemente tratando de acercar a los productores a los conocimientos del sector.

Aspectos legales

Además de los artículos de la Constitución Nacional incluidos a partir de la reforma de 1994 (Arts. 41 y 42) (18), y la Ley General del Ambiente N° 25675, la Provincia de Santa Fe cuenta con herramientas legales que legislan en cuanto a cuestiones ambientales y protección de

los recursos. Desde 1995, la Ley Provincial 11.273 (Ley de Productos Fitosanitarios) establece que los distintos municipios y comunas de la Provincia deben, a través de ordenanzas, reglamentar el uso de los mismos en cada una de las localidades.

La comuna de Monte Vera, a la cual pertenece jurisdiccionalmente la zona de estudio, cuenta con la Ordenanza N° 1305/11, que regula sobre la aplicación de fitosanitarios. Sin embargo, esta Ley no se cumple en ninguna de sus instancias ni regulaciones, cuestión que resulta evidente en el área de estudio, tanto en cuanto a aspectos de comercialización, aplicación, disposición de recipientes y falta de intervención de profesionales en todas las etapas.

La Ordenanza Municipal N° 11.462/2008 de la ciudad de Santa Fe, prohíbe el uso aéreo de productos fitosanitarios de clase toxicológica I, II, III y IV dentro del ejido urbano, y la Ordenanza 1.045/2008 registra el Convenio de Colaboración para la constitución de un área metropolitana de localización industrial bajo la denominación "Gran Santa Fe" suscripto entre la municipalidad de la Ciudad de Santa Fe y otras municipalidades y comunas vecinas. De este modo, el área de estudio queda alcanzada por dicho convenio al pasar a pertenecer a la órbita del Gran Santa Fe.

La Ley Provincial N° 11.717 de Medio Ambiente y Desarrollo sustentable, establece como objetivo "a) Establecer dentro de la política de desarrollo integral de la Provincia, los principios rectores para preservar, conservar, mejorar y recuperar el medio ambiente, los recursos naturales y la calidad de vida de la población" y, particularmente el artículo 2 de dicha ley avanza en cuestiones como: ... "La utilización racional del suelo, subsuelo, agua, atmósfera, fauna, paisaje, gea, fuentes energéticas y demás recursos naturales, en función del desarrollo sustentable".

Sin embargo, en la actualidad, esta Ley se aplica más fuertemente en el sector industrial, omitiendo el resto de las actividades, tal el caso de las agropecuarias.

En cuanto a las regulaciones en relación con los pesticidas hallados, cabe destacar la resolución del SENASA 511/11, que prohíbe a partir del 1 de julio de 2013 la elaboración, formulación, comercialización y uso de los productos que contengan el principio activo endosulfán, principio activo altamente tóxico en forma aguda. Esta prohibición tiene por objetivo proteger la salud humana y el ambiente y está en línea con el Convenio de Rotterdam (2004) sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo, aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos, objeto de comercio internacional, en cuyo listado se incluyó este insecticida y acaricida de uso agrícola.

El Convenio de Estocolmo (2004) sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), es el acuerdo internacional que regula el tratamiento de las sustancias tóxicas y dentro del cual se halla incluido el lindano. Ambos acuerdos fueron suscriptos por Argentina.

En nuestro país, el lindano se encuentra prohibido desde 1991, en productos domésticos y destinados a salud humana y veterinaria (ANMAT resolución 113/91) y posteriormente, a través de la Resolución SAGPyA 513/98 se prohíbe "la importación, comercialización y uso como fitosanitarios de los principios activos clordano y lindano, y los productos formulados con base en estos, en todo el ámbito de la República Argentina", quedando así incluido en el Anexo III de SENASA (Listado de principios activos prohibidos) con el grado de prohibición total.

CONCLUSIONES

El área considerada en el presente trabajo es sumamente pequeña considerando la extensión del acuífero subyacente; sin embargo, las recomendaciones de carácter general aquí presentadas permitirían delinear acciones de gestión concretas, las que pueden ser tenidas en cuenta en áreas aledañas con similares características.

A pesar de que los resultados de los análisis de laboratorio realizados en las muestras de agua subterránea indicaron tenores bajos de nitratos y que los restantes parámetros físico-químicos analizados se encuentran por debajo de los valores guía indicados en la legislación provincial y nacional de referencia (Ley Provincial 11.220, Código Alimentario Argentino, respectivamente), la vulnerabilidad del acuífero exige la toma de medidas de protección del mismo.

El valor del índice GOD estimado revela que el acuífero tiene una vulnerabilidad a la contaminación alta. Sumado a ello, la elevada amenaza dada por las cargas contaminantes (categorizada por el método POSH), indica que la zona presenta un peligro a la contaminación alto. Esto impone niveles de acción prioritarios para el control de la contaminación del agua subterránea.

La densidad de población actual y la calidad del agua subterránea existente no justificarían los elevados montos implicados en la realización de obras de saneamiento y vinculación con el sistema de agua potable centralizado, al menos en forma inmediata. Sin embargo, se requeriría comenzar con un cuidadoso monitoreo, según los procedimientos previstos por la Organización Mundial de la Salud y teniendo en cuenta tales obras para futuras planificaciones.

Si bien la comuna realiza este monitoreo según los estándares establecidos, en el agua que alimenta los tanques de distribución ubicados en el Paraje El Chaquito, se recomienda que el contenido de nitratos sea monitoreado periódicamente, ya que el mismo constituye un indicador que contempla tanto la eventual contaminación proveniente del saneamiento como la que aportan los compuestos nitrogenados usados en las labores agrícolas de la zona.

El hallazgo realizado en cuanto a la presencia de concentraciones detectables de endosulfán, lindano y trifloxiestrobirurlina, refuerza esta premisa.

Cabe destacar que no se pudo comprobar ningún patrón de distribución de dichos contaminantes al referenciar

los sitios de muestreo y detección de los mismos en el mapa del área de estudio.

El paquete normativo, tanto a nivel provincial como comunal, sería suficiente para comenzar a actuar sobre la protección del recurso.

Se considera que en la actualidad están presentes todos los elementos y los actores que permitirían llevar a cabo algunas de tales estrategias de protección del recurso hídrico. Sin embargo, estos elementos y actores no se encuentran articulados como para poder desarrollarlas.

La coordinación entre los esfuerzos de dichos componentes es imprescindible para lograr resultados concretos que se orienten a la protección de los recursos naturales y en particular del agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcalá Jáuregui, J.; Rodríguez Ortíz, J. O.; Hernández Montoya, A.; Díaz Flores, P. E.; Filippini, M. F.; Martínez Carretero, E. 2015. Cortezas de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) y *Schinus molle* (Anacardiaceae) como bioindicadoras de contaminación por metales pesados. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2):83-95.
2. Álvarez, A.; D' Elía M.; Paris, M.; Fasciolo, G.; Barbazza, C. 2011. Evaluación de la contaminación de acuíferos producida por actividades de saneamiento y re-uso de efluentes en el norte de la provincia de Mendoza. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 43(1): 19-39.
3. Anzolín, A. 2006. Lazos verdes: muestra relación con la naturaleza. Editorial Maipue. 320 p.
4. Consejo Local Asesor de la Agencia de Extensión Rural Santa Fe, INTA. 2009. Información Cinturón verde de la ciudad de Santa Fe (Años 2001 a 2007/08). Documento de Análisis y Discusión.
5. D' Elia, M.; Paris, M.; Pérez, M.; Tujchneider, O.; Pusineri, G.; Gualini, S.; Pagliano, M., 2008. Evaluación del peligro de contaminación de las aguas subterráneas en situaciones de riesgo hídrico en la ciudad de Santa Fe, Argentina. Primera fase. Trabajo enviado al XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Cartagena de Indias Colombia.
6. D' Elia, M.; Paris, M.; Tujchneider, O.; Pérez, M.; Pagliano, M.; Gualini, S.; Fedele, A. 2011. Agua subterránea en áreas urbanas. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Captación y Modelación de Agua Subterránea. Salta, Argentina.
7. Di Ciocco, C. A.; Sandler, R. V.; Falco, L. B.; Coviella, C. E. 2014. Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(1):73-85.

8. Durán, A. 2013. Protección de los recursos hídricos subterráneos en la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe. Tesis de posgrado de la Maestría en Gestión Ambiental. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina. 141 p.
9. Farreras, V. 2014. Valoración económica de los efectos de la presión antrópica sobre el piedemonte mendocino. Una aplicación de los experimentos de elección discreta. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(2):113-133.
10. Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; D' Elia, M.; Paris, M. 2003. Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. GW-MATE. Banco Mundial. Mundi prensa, España. 117 p.
11. Hernández, M.; Minghinelli, L. 1995. Contaminación por nitratos del acuífero freático en la cuenca Martín-Carnaval (partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires). II Seminario Hispano-Argentino sobre temas de Hidrología Subterránea. Universidad Nacional de Tucumán. Correlación Geológica. 11: 259-275.
12. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. 1996. Indicadores Ambientales. Una propuesta para España. España. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente. 146 p.
13. Mosconi F.; Pirano, L. J.; Hein, N. E.; Moscatelli, G.; Zalazar, J. C.; Gutierrez, T.; Cáceres, L. 1981. Mapa de Suelos de la Provincia de Santa Fe. Tomo I INTA-MAG. 246 p.
14. Municipalidad de la ciudad de Santa Fe. ProCIFE. 2005. Convenio de asistencia técnica. Plan Urbano Santa Fe. Informe final. 246 p.
15. Mussetta, P.; Barrientos, M. J. 2015. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el Cambio Ambiental Global: clima, agua, economía y sociedad. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2):145-170.
16. Pagliano, M. 2008. Evaluación de las posibilidades de recarga natural a los acuíferos en áreas urbanas. XII Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral y III Encuentro de Jóvenes Investigadores de Universidades de Santa Fe. Santa Fe, Argentina.
17. Pagliano, M. 2010. XVIII Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM. Evaluación de las relaciones hidráulicas e hidroquímicas entre un relleno sanitario y un sistema acuífero complejo. Fase preliminar. Santa Fe, Argentina. Libro de resúmenes: p. 168-169.
18. Pinto, M.; Martín, L. 2015. Los mecanismos legales de acceso al agua en las provincias áridas del oeste argentino: principios y características comunes. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 145-157.
19. Rodier, J. 1981. Análisis de las aguas. Ediciones Omega. 1060 p.
20. Rodríguez, A.; Lenardón, A. 2007. Provincia de Santa Fe Sur en La problemática de los agroquímicos y sus envases, su incidencia en la salud de los trabajadores, la población expuesta y el ambiente. En: Estudio colaborativo multicéntrico. Ministerio de Salud. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. AAMMA, OPS/OMS.
21. Serafino, M. 2010. De Patrona de Tarija a Patrona de Ángel Gallardo: La Virgen Migrante. Sociedad y Economía. 19: 117-134.
22. Sosa, C.; Gualini, S.; Paris, M.; D' Elía, M. 2001. SC Perfiles. Programa computacional y manual del usuario. Herramienta gráfica y de análisis en entorno visual para el procesamiento de información de perfiles litológicos, niveles piezométricos y conductividad eléctrica.
23. Stadler, S.; Botta, G. F. 2015. Caracterización parcial de los contratistas de servicios de maquinaria agrícola en la micro región 2 –provincia de La Pampa, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2):135-143.
24. Standard Methods for Examination of Water and Waste Water. 21st Edition, APHA, AWWA, WEF. 2005.

Multielemental composition and nutritional value of "dumosa" (*Ilex dumosa*), "yerba mate" (*I. paraguariensis*) and their commercial mixture in different forms of use

Composición multielemental y valor nutricional de "dumosa" (*Ilex dumosa*), "yerba mate" (*I. paraguariensis*) y su mezcla comercial en diferentes formas de uso

Marcos G. Maiocchi ¹, Luis A. Del Vitto ², Marta E. Petenatti ², Eduardo J. Marchevsky ³, María V. Avanza ¹, Roberto G. Pellerano ¹, Elisa M. Petenatti ²

Originales: *Recepción*: 19/11/2014 - *Aceptación*: 29/09/2015

ABSTRACT

The multielement composition and nutritional value of "dumosa" (*Ilex dumosa*) (*ID*), "yerba mate" (*I. paraguariensis*) (*IP*) and their commercial 70:30 mixture (*ID:IP*, w/w) in crude drug, brewed mate and tea-bag-like infusion were studied by ICP-OES. This method allowed the detection of an unprecedented number of elements for these species. The order was K>Ca>Mg>P>Mn>Al>Na>Si>Fe in crude drug. *IP* showed higher concentration of minerals than *ID*, but most extractability in the latter largely offset its shortcomings. Brewed mate had higher nutritional value than mate tea because their higher solute/solvent ratio. A portion of brewed mate of both species exceeded the daily recommended intake (DRI) of Mn, and providing Mg, Cu, Fe, Zn and K, too. The portions of mate tea not contribute significantly to the DRI. Some essential trace elements and many ultra-traces ones that exist in crude drug were not detected in aqueous extracts. Most of the heavy metals were not leached into extracts, and in any case never exceeded international safety limits. Therefore, the aqueous extracts of *ID* and *IP* and its mixture are interesting from the nutritional point of view in minerales, and safe in terms of health.

Keywords

Ilex dumosa • *Ilex paraguariensis* • mate • multielemental composition • nutritional value

-
- 1 Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste, 9 de julio 1449, 3400 Corrientes, Argentina. maiocchi.marcos@gmail.com
 - 2 Herbario y Proy. 2-1014 SECyT-UNSL y 22/Q-416 SPU-ME, Universidad Nacional de San Luis, Argentina.
 - 3 Instituto de Química San Luis (INQUISAL), CONICET CCT San Luis, Argentina.

RESUMEN

La composición multielemental y el valor nutricional de "dumosa" (*Ilex dumosa*) (*ID*), "yerba mate" (*I. paraguariensis*) (*IP*) y su mezcla comercial 70:30 (*ID:IP*, p/p) fue estudiada por ICP-OES en droga cruda y dos formas de consumo: "cebadura" y "mate cocido". Este método permitió detectar un número sin precedentes de elementos en estas especies. En droga cruda, el orden resultó K>Ca>Mg>P>Mn>Al>Na>Si>Fe. *IP* mostró mayor concentración de minerales que *ID*, pero la mayor extractabilidad en esta última compensó en gran medida sus deficiencias. La cebadura mostró mayor valor nutricional que la infusión, a causa de su mayor relación soluto/disolvente. La porción de cebadura de ambas especies superó la ingesta diaria recomendada (IDR) de Mn, aportando también Mg, Cu, Fe, Zn y K. La porción de mate cocido no contribuyó significativamente a la IDR. Algunos elementos traza esenciales y muchos ultra-trazas presentes en droga cruda no fueron detectados en los extractos acuosos. La mayoría de los metales pesados no fueron lixiviados hacia los extractos, y en todo caso nunca excedieron los límites de seguridad internacionales. Por ello, los extractos acuosos de *ID* e *IP* y sus mezclas son interesantes desde el punto de vista nutricional y son seguros en cuanto a la salud.

Palabras clave

Ilex dumosa • *Ilex paraguariensis* • yerba mate • composición multielemental
• valor nutricional

INTRODUCTION

According to food laws in Argentina and neighboring countries, "yerba mate" consists of leaves and young stems of *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. (*IP*), undergoing to toasted, drying, milled and aging (7).

The nonalcoholic beverage made from this herb, the brewed mate, is the most popular in Southern South America (Argentina, Brazil, Uruguay, and Paraguay), having extended its use to other countries in America and even the Middle East. Although the processes are generally the same, some particular conditions determine various flavors and types of "yerba mate" to satisfy the different consumers taste (5).

On the other hand, Chile accepts too as "yerba mate" the species *I. brasiliensis* (Spreng.) Loes (11).

In the last years, *I. dumosa* Reissek (*ID*) has been adapted to farming and industrial processes typical of the "yerba mate" (27, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 43, 44). This plant, commonly called "yerba señorita" (Spanish), "caa-mirí" (Guarani) or "congonha" (Portuguese), has been considered since colonial times alternatively as a substitute or adulterant of the "yerba mate" (19).

I. dumosa has been formally incorporated into the Argentinean Food Code under the name "dumosa" (8), among the "herbs for infusions". It is particularly interesting because their low xanthine content (0.1-0.2% in dry weight vs. 1-2% in *IP*) and resistance against some diseases (44). Also, it can be grown in large lowland areas of Corrientes province, in Northeastern Argentina (43). It has been

recognized two varieties of *I. dumosa*: *I. d. var. dumosa* (the typical one), *I. d. var. guaranina* Loes. Technically, the first is the most suitable for cultivation, and some of its cultivars have been selected and identified (43). Although its infusion has some differences in taste with the "yerba mate", it is palatable at least for some consumers. It is present in the Argentinean market since 2007, especially in a mixture with *IP*, in the form labeled "light-relax", prepared by a ratio of 70% of *ID* and 30% of *IP*, suitable for infusions, with low xanthine and similar taste to traditional "mate" (31). Meanwhile, in the wild "yerbales" (*Ilex* forests) in the Brazilian states of Santa Catarina and Paraná, *ID* is commercially exploited together with *IP*.

The aim of this paper was to report the results of multielemental analysis, determine the nutritional mineral value and heavy metals content in both the crude material and in two different forms of consumption of *I. dumosa*: brewed "mate" in a gourd ("cebadura" or "chimarrão") and tea-bag-like infusion in a cup ("mate cocido" or "chá mate", 1.5% infusion), compared to *IP* and the mixture 70:30 of both species, as currently occurs in the market.

MATERIAL AND METHODS

Plant material

Leaves and young branches of *Ilex dumosa* and *I. paraguariensis* were harvested separately from standardized commercial crops located at the province of Corrientes, Argentina. The voucher specimens are as follows:

Ilex dumosa Reissek var. *dumosa*

Argentina, Prov. Corrientes, Dpto. Santo Tomé, Gob. Virasoro, Establecimiento "Las Marías", "dumosa" de campo

(cultivo), -28° 09' 21.73", -56° 00' 17.34". M.G. Maiocchi w/n., a. 2003 (UNSL #531b).

Ilex paraguariensis A. St.-Hil.

Argentina, Prov. Corrientes, Dpto. Santo Tomé, Gob. Virasoro, Establecimiento "Las Marías", "yerba mate" de campo (cultivo), -28° 09' 21.73", -56° 01' 01.59". M.G. Maiocchi w/n., a. 2003 (UNSL #532).

All material was treated according to the modern techniques of "yerba mate" industry, which comprise blanching, drying, and aging. The blanching was made by flash heating over open flame, (400-550°C for 2 minutes). After cooled it was crushed and dried in a rotary kiln with airflow (110°C during 4 h), up to 2-6% remaining moisture. Then, the leaves were separated from the stems by a grid (1x20cm), and stored (50-60°C for 60 days); after which they were milled and passed through a series of standard sieves (ASTME-11/95 n°100 and n°40) to achieved commercial size (0.150mm up to 0.425mm). Moreover, a mixture 70:30 w/w (*ID:IP*) was especially prepared to simulate the commercial product recently admitted to the market.

The material to tea-bag-like infusion ("mate cocido") was prepared as above, but using the fraction obtained by milling and sieving of the leaves into particles of about 0.425mm to 0.500mm (ASTME-11/95 standard n° 40 and n° 35 sieves). This material was used to fill the paper bags of 3g each, which are used for preparing the 1.5% infusion.

Obtaining aqueous extracts

The traditional preparation of mate in a gourd (called "cebadura" in Spanish and "chimarrão" in Portuguese) was simulated in the laboratory by means of a device especially developed for this purpose by Maiocchi & Avanza (1998)

using a separating funnel with Whatman n°5 paper and vacuum connection (figure 1), from 50g sample and 500mL of pure water at 84°C, divided into 10 treatments of 50mL each (as done in the normal mate brewed procedure), and placed in contact with the material for 1 minute, finally obtaining 10 extracts. These values obey the usual conditions of use of a dry gourd to brew the mate and a metallic straw ("bombilla") to suck the infusion.

The tea-bag-like 1.5% infusion (called "mate cocido" or "chá mate") was prepared by adding 200mL of recently boiled (c. 84°C) pure water upon 3g of each product, allowing to stand for 5 minutes, according to the most common market presentation (bags of 3g each) and time recommended in various commercial packaging.

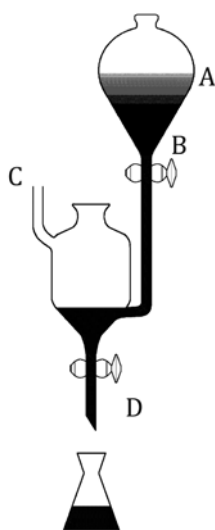


Figure 1. Device for brewed "mate" simulation. A: separatory funnel, B: filter media, C: vacuum connection, D: out.

Figura 1. Dispositivo para la simulación de la "cebadura".

A: embudo de decantación, B: medio filtrante, C: conexión a vacío, D: salida.

Then it was filtered through a mesh (33) and through Whatman N° 5 paper in order to retain the particles of material that had passed through the mesh.

These conditions determined both the serving size of brewed mate (50g:500mL) and tea-bag-like infusion (3g:200mL) (33, 37).

Mineral composition analysis and nutritional evaluation

Crude drug

It was applied the method described by Abou-Arab & Abou Donia (2000) with some modifications to adapt it to our working conditions: 5g of crude drug of each powdered sample were dried in an oven (102-105°C during 48 h) until constant weight. This mixture was transferred to a porcelain crucible, and then 5mL of Indium 500mg/L (used as internal standard to evaluate the degree of recovery) was added. Then cover it with a cap and reduced to ash in a muffle (650°C during 5 h).

After cooled, it was dissolved with 10mL of concentrated HNO₃, transferred to a 50mL volumetric flask and filled to the mark with deionised water.

The concentrations of 32 selected elements as well as the internal standard (In) were determined by ICP-OES, using an inductively coupled radial spectrometer Varian-PRO (Series EL 05083717), with a Czerny-Turner monochromator, holographic diffraction grid and a VistaChip charge coupled device (CCD) array detector, calibrated quarterly, and used a precision scale Kretz model 5530 adequately calibrated by the Centro Metrológico Cuyo (CEMEC, ISO 9001).

The working wavelength and the detection limit for each element are shown in table 1 (page 149).

Table 1. Wavelength and detection limit for each element
Tabla 1. Longitud de onda y límite de detección para cada elemento

Element	Ag	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Co
Wavelength (nm)	328.068	308.215	193.696	249.773	493.408	317.933	226.502	228.615
Detection limit (mg kg ⁻¹)	0.021	0.06	0.105	0.009	0.003	0.021	0.003	0.006
Element	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn
Wavelength (nm)	267.716	324.754	259.940	194.164	766.491	670.783	279.800	257.610
Detection limit (mg kg ⁻¹)	0.012	0.009	0.012	0.03	0.45	0.006	0.06	0.003
Element	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Si
Wavelength (nm)	202.032	588.995	231.604	213.618	220.353	206.834	196.026	251.611
Detection limit (mg kg ⁻¹)	0.015	0.06	0.03	0.15	0.084	0.063	0.15	0.06
Element	Sn	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	Zn
Wavelength (nm)	189.927	421.552	401.913	334.947	377.572	409.013	292.401	213.857
Detection limit (mg kg ⁻¹)	0.051	0.001	0.09	0.006	0.081	0.45	0.009	0.006

Calibration curves were established for each element using five concentrations, and the regression coefficient (r^2) values of such curves ranged from 0.994 to 0.999.

The validation of the method was verified by mean of the addition of a standard (22, 25, 45), in this case Indium, for the evaluation of the recovery percentage as well as eventual losses during the ashing step (26).

The recovery value, calculated by equation $[(\text{found} - \text{initial}) / \text{added}] \times 100$, varies from 95.2% to 101.8%, with a mean of $98.5 \pm 3.3\%$ ($n = 32$). This result is considered acceptable taking in mind both the instrumental error and detection limit as well as the results reported in the literature (1). All reagents used were of analytical grade (Merck, Sigma).

The results were expressed in mg kg^{-1} of dry matter.

Aqueous extracts

For its part, the aqueous extracts (brewed mate and tea-bag-like infusion) were dried and the residues

charred; then were treated with the same procedure as in the case of the crude drug.

Daily consumption was established on an average of 1L of brewed mate per person per day and 600mL of tea-bag-like infusion per person per day, *i. e.*, 3 cups of 200mL each (37).

The appraisal of nutritional value and/or potential hazard to health of mineral content was made on the basis of the requirements of male or female between 19-50 years old, according to international parameters, especially the dietary reference intakes (DRIs) (17, 49, 50, 51, 52), and in case of some elements, the recommended dietary allowance (RDA), the adequate intake (AI) and the tolerable upper intake level (UL, from www.nap.edu), even the estimated dietary intakes (12) as well as the typical daily nutritional intake (42).

Statistical analysis

Data collected from ten batches of each species and its mixture were subjected to statistical analysis, by means of the Software *Infostat* (14). One-way ANOVA

($\alpha=0.005$) and LSD (Fisher's Least Significance Difference) were applied. The values are represented by their arithmetic mean and corresponding standard deviation.

RESULTS AND DISCUSSION

Ashes

The ashes content in crude drug and aqueous extracts are shown in table 2.

Ilex paraguariensis contains ashes in a significantly ($p<0.05$) higher proportion than *I. dumosa*, both in crude drug (c. 13% more), brewed mate (c. 20%) and tea-bag-like infusion (c. 27%).

The deashing profiles behave similarly in both species throughout the extraction process, which increases to "mate" #3 and then gradually decreases (table 3, page 151).

Similar values were reported especially for *I. paraguariensis* (3, 15, 28, 46), that fall within the provisions of the Argentinean Food Code (7, 37) that sets a maximum of 9 g% on dry weight.

Samples analytical data on 32 elements

Analytical data on 32 elements from samples of crude drugs and their aqueous extracts were obtained. Essentials quantitative (required >100 mg per day), essentials trace (<100 mg per day) and

ultra-trace elements that are useful in the nutrition and maintenance of human health are listed in table 4 (page 152), table 5 (page 153) and table 6 (page 154), along with some elements whose importance is still being investigated (6) or that have proven harmful properties.

Table 2 shows that element content of crude drug of *IP* was higher or in some cases very similar than those of *ID*, except for Zn, Cu, Ba, Sr and Th. It highlights the high Mn content and the low Na in both species.

The mineral content of the mixture was always related directly to the 70:30 proportion.

Among the major essential elements, crude drug contain valuable amounts of $K>Ca>Mg>P$, in the same sequence in both plant species, but a higher concentration in *IP* than in *ID* (2 times for P, 1.4 times for K, 1.3 times for Ca and Mg).

In terms of essential trace elements, no significant differences were found at species level about content of Mn, Fe, and Se, what did happen in the case of Zn, Li, Cu, Ni, Co, Cr and V of both plant species.

The most abundant essential trace element is Mn, at a similar level in both species (c. 600-700 mg kg⁻¹).

Finally, Mo was not detected at all in *ID* and the mixture, while in *IP* was present but in amounts below the instrumental limit.

Table 2. Total ashes in crude drug and aqueous extracts.

Tabla 2. Cenizas totales en droga cruda y extractos acuosos.

Total ashes	<i>Ilex dumosa</i> (n=10)	<i>I. paraguariensis</i> (n=10)	Mixture 70:30 (n=10)
Crude drug (g% DW)	4.7 ± 0.6	5.3* ± 0.7	4.5 ± 0.9
Brewed mate ("Cebadura") (mg per serving)	1294 ± 68	1631* ± 82	1419 ± 75
Tea-bag-like 1.5% infusion ("mate cocido") (mg per serving)	77.3 ± 3.7	106* ± 2	86.9 ± 4.2

DW= dry weight of crude drug; brewed mate serving size= 50g: 500mL; tea-bag-like infusion serving size= 3g: 200mL.

DW= peso seco de droga cruda; porción de cebadura= 50g: 500mL; porción de infusión de saquitos = 3g: 200mL.

Table 3. Brewed mate: ashes per serving size (mg).

Tabla 3. Cebadura: cenizas por porción (mg).

Mate n°	<i>Ilex paraguariensis</i>		<i>Ilex dumosa</i>	
	mg ashes/kg DW	Standard error	mg ashes/kg DW	Standard error
1	71	6.5	82	2.0
2	255	5	196	6.5
3	285	6.5	209	7.5
4	249	6.5	172	6.5
5	215	8.5	150	6.5
6	168	6.5	126	3
7	132	5.5	109	4
8	106	5.5	91	5.5
9	83	3	85	5.5
10	67	2.5	74	5.5

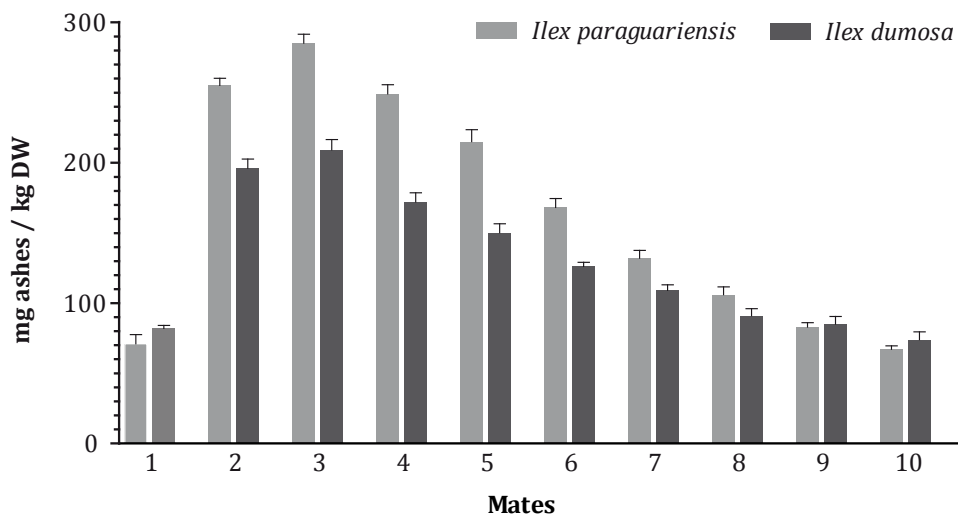


Table 4. Elemental content in crude drug (DW).
Tabla 4. Contenido elemental en droga cruda (DW).

Element	Iod (mg kg ⁻¹ ashes)	<i>Ilex dumosa</i> (mg kg ⁻¹ DW) (n=10)	<i>I. paraguariensis</i> (mg kg ⁻¹ DW) (n=10)	Mixture 70:30 (mg kg ⁻¹ DW) (n=10)	Minimum-maximum values from others sources and methods (mg kg ⁻¹ DW)	
					<i>I. dumosa</i> *	<i>I. paraguariensis</i> **
Quantitative Essentials Elements (required >100 mg day⁻¹)						
K	0.45	7958 ± 616	11352 ± 1271	8254 ± 957	2400-8400	8000-20800
Ca	0.021	6266 ± 558	7688 ± 1256	6857 ± 1270	6100-8800	3500-14500
Mg	0.06	5246 ± 629	6988 ± 1340	5959 ± 869	4000-4450	2800-9100
P	0.15	641 ± 41	1371 ± 259	823 ± 98	500	670-2100
Na	0.06	148 ± 11	372 ± 55	231 ± 28	42	15-1706
Essential Trace Elements (required <100 mg day⁻¹)						
Mn	0.003	631 ± 80	685 ± 148	648 ± 177	540-840	580-2330
Fe	0.012	104 ± 13	124 ± 31	109 ± 9	50-85	69-290
Zn	0.006	90 ± 10	38 ± 7	77 ± 22	34-500	10-77
Li	0.006	7.8 ± 1.5	23 ± 5	13 ± 2	No data	No data
Cu	0.009	15.4 ± 3.3	8.7 ± 1.9	13 ± 3	8.5-10	No data
Ni	0.03	2.7 ± 0.4	4.9 ± 1.5	3.4 ± 0.6	No data	4.7-18
Co	0.006	0.31 ± 0.03	0.63 ± 0.18	0.40 ± 0.08	No data	0.01-3.5
Cr	0.012	0.39 ± 0.06	0.99 ± 0.26	0.60 ± 0.16	No data	No data
Se	0.15	0.64 ± 0.11	0.79 ± 0.09	0.70 ± 0.24	No data	1.2-2
V	0.009	0.19 ± 0.09	0.53 ± 0.11	0.27 ± 0.08	No data	No data
Mo	0.015	nd	<ld	nd	No data	No data
Ultra-trace Elements						
Al	0.06	296 ± 43	643 ± 96	412.8 ± 92.4	No data	120-700
Si	0.06	138 ± 15	333 ± 42	189.1 ± 42.3	No data	515-580
Ba	0.003	97 ± 16	85 ± 20	95.24 ± 18.67	No data	No data
Sr	0.001	88 ± 14	46 ± 10	76.06 ± 9.88	No data	No data
B	0.009	60 ± 13	92 ± 16	72.74 ± 15.97	No data	15-70
Ti	0.006	3.5 ± 0.9	7.6 ± 1.9	4.89 ± 0.76	No data	27-33
Th	0.09	3.4 ± 0.6	2.5 ± 0.7	3.12 ± 1.06	No data	No data
Pb	0.084	0.83 ± 0.27	2.9 ± 0.6	1.26 ± 0.35	No data	0.03-0.18
Sb	0.063	0.35 ± 0.11	0.61 ± 0.09	0.477 ± 0.114	No data	No data

DW: dry weight of crude drug; **lod:** limit of detection; **nd:** not detected; * according to 34, 53 (reference); ** according to 9, 10, 20, 21, 24, 34, 38, 47, 53, 55 (reference). - **Note:** Ag, As, Cd, Hg, Sn, Tl and U were detected in amounts below the instrumental limit

DW: peso seco de droga cruda; **lod:** límite de detección; **nd:** no detectado; * según 34, 53 (bibliografía); ** según 9, 10, 20, 21, 24, 34, 38, 47, 53, 55 (bibliografía). - **Nota:** Ag, As, Cd, Hg, Sn, Tl y U fueron detectados en cantidades inferiores al límite instrumental.

Table 5. Brewed mate: elemental content, nutritional value and/or toxicity level.
Tabla 5. Cebadura: contenido elemental, valor nutricional y/o nivel de toxicidad.

Element	DRIs and/or ULs ⁽¹⁾ (mg day ⁻¹)	<i>Ilex dumosa</i> (n=10)		<i>I. paraguariensis</i> (n=10)		Mixture 70:30, ID-IP (n=10)	
		mg per serving ⁽²⁾	Input to DRI/UL (%)	mg per serving ⁽²⁾	Input to DRI/UL (%)	mg per serving ⁽²⁾	Input to DRI/UL (%)
Quantitative Essential Elements (required >100 mg day⁻¹)							
K	4700 ^b	354 ± 78	7.5 ^a	477 ± 85	10.1 ^a	393 ± 69	8.4 ^a
Ca	1000-1200 ^c ; 2500 ^b	26 ± 3	2.1-2.6 ^b	7.7 ± 1.4	0.64-0.77 ^a	20 ± 4	1.6-2 ^a
Mg	310-320 ^c ; 350 ^b	136 ± 30	42-44 ^c	129 ± 42	40-42 ^c	141 ± 36	44-45 ^c
P	700 ^c ; 4,000 ^b	20 ± 6	2.9 ^c	38 ± 5	5.4 ^c	24 ± 5	3.4 ^c
Na	1500 ^c ; 2300 ^b	6.2 ± 0.9	0.4 ^a	16 ± 1.4	1.1 ^a	8.5 ± 1.2	0.60 ^a
Essential Trace Elements (required <100 mg day⁻¹)							
Mn	1.8-2.3 ^a ; 11 ^b	24 ± 3	1026-1312 ^a	16 ± 4	684-875 ^a	21 ± 5	916-1171 ^a
Fe	8-18 ^c ; 45 ^b	3.0 ± 0.4	16-38 ^c	2.7 ± 0.7	15-34.1 ^c	2.9 ± 0.5	16-37 ^c
Zn	8-11 ^c ; 40 ^b	1.1 ± 0.1	9.8-13 ^c	0.65 ± 0.13	4.8-8.1 ^c	0.99 ± 0.27	9-12 ^c
Li	0.2-0.6 ^d	0.01 ± 0.003	1.3-4 ^d	0.03 ± 0.01	3.3-10 ^d	0.02 ± 0.01	1.7-5 ^d
Cu	0.9 ^c ; 10 ^b	0.30 ± 0.07	32 ^c	0.33 ± 0.10	35 ^c	0.26 ± 0.06	29 ^c
Ni	1 ^b	0.07 ± 0.02	7 ^b	0.10 ± 0.03	10 ^b	0.08 ± 0.03	8 ^b
Co	undetermined	<lod	-	0.011 ± 0.003	-	0.008 ± 0.002	-
Ultra-trace Elements							
Al	2-10 ^d	0.27 ± 0.05	2.7-13 ^d	0.65 ± 0.12	6.4-32 ^d	0.37 ± 0.08	3.6-18 ^d
Si	Not determined	2.3 ± 0.4	-	5.0 ± 1.2	-	3.2 ± 0.8	-
Ba	8-11 ^c ; 40 ^b	0.20 ± 0.05	1.7-2.4 ^c	0.17 ± 0.04	1.5-2.1 ^c	0.18 ± 0.24	1.6-2.2 ^c
Sr	Not determined	0.15 ± 0.02	-	0.21 ± 0.04	-	0.17 ± 0.05	-
B	20 ^b	0.27 ± 0.08	1.3 ^b	0.15 ± 0.03	0.70 ^b	0.22 ± 0.05	1.0 ^b

Ref.: lod= límite de detección; ⁽¹⁾ calculado en base a las RDAs (consumo de referencia alimenticio) y/o ULs (ingesta máxima admisible), fundadas en las necesidades nutricionales de hombres y mujeres entre 19-50 años, donde ^(a) es la Ingesta Adecuada (AI, www.nap.edu); ^(b) Tolerable upper intake level (UL, FNB 1998); ^(c) Recommended dietary allowance (RDA, www.nap.edu); ^(d) Typical daily intake (Nielsen, 2003); ^(e) Estimated dietary intake (COT, 2003). - ⁽²⁾ Serving size: 50g of crude drug in 500mL water recently boiled (84°C). - **Note:** essential trace elements **Cr, Se, V, and Mo** and ultra-trace **Ti, Th, Pb, Sb, Ag, As, Cd, Hg, Sn, Tl, and U** were not detected in the brewed mate.

Ref.: lod= límite de detección; ⁽¹⁾ calculado en base a las RDAs (consumo de referencia alimenticio) y/o ULs (ingesta máxima admisible), fundadas en las necesidades nutricionales de hombres y mujeres entre 19-50 años, donde ^(a) es la Ingesta Adecuada (AI, www.nap.edu); ^(b) el nivel de ingesta máxima admisible (UL, FNB 1998); ^(c) el consumo de referencia alimenticio (RDA, www.nap.edu); ^(d) la ingesta diaria típica (Nielsen, 2003); ^(e) la ingesta dietaria estimada (COT, 2003). - ⁽²⁾ tamaño de porción: 50 g de droga cruda en 500 ml de agua recientemente hervida (84°C). - **Nota:** los elementos esenciales traza **Cr, Se, V y Mo** y los ultra-traza **Ti, Th, Pb, Sb, Ag, As, Cd, Hg, Sn, Tl y U** no fueron detectados en la cebadura.

Table 6. Tea-bag-like infusion: elemental content, nutritional value and/or toxicity level.
Tabla 6. "Mate cocido" (infusión): contenido elemental, valor nutricional y/o nivel de toxicidad.

Element	<i>Ilex dumosa</i> (n=10)		<i>I. paraguariensis</i> (n=10)		Mixture 70:30, ID:IP (n=10)	
	mg per serving ⁽²⁾	Input to DRI/UL (%)	mg per serving ⁽²⁾	Input to DRI/UL (%)	mg per serving ⁽²⁾	Input to DRI/UL (%)
	Quantitative Essentials Elements (required >100 mg day⁻¹)					
K	4700 ^a	0.47 ^a	32.4 ± 8.0	0.69 ^a	23.4 ± 6.0	0.5 ^a
Ca	1000-1200 ^a ; 2500 ^b	0.13-0.15 ^a	0.67 ± 0.10	0.05-0.07 ^a	1.0 ± 0.2	0.08-0.10 ^a
Mg	310-320 ^c ; 350 ^b	2.4-2.5 ^c	7.5 ± 1.8	2.3-2.4 ^c	7.7 ± 2.1	2.4-2.5 ^c
P	700 ^c ; 4000 ^b	0.17 ^c	3.1 ± 0.8	0.44 ^c	1.6 ± 0.4	0.23 ^c
Na	1500 ^c ; 2300 ^b	0.35 ± 0.08	0.96 ± 0.21	0.06 ^c	0.53 ± 0.12	0.03 ^a
	Essential Trace Elements (required <100 mg day⁻¹)					
Mn	1.8-2.3 ^b ; 11 ^b	61-79 ^a	1.4 ± 0.6	0.94 ± 0.29	1.2 ± 0.4	51-65.5 ^a
Fe	8-18 ^c ; 45 ^b	0.89-2 ^c	0.16 ± 0.03	0.18 ± 0.03	0.16 ± 0.05	0.89-2 ^c
Zn	8-11 ^c ; 40 ^b	0.54-0.75 ^c	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.45-0.62 ^c
Li	0.2-0.6 ^d	-	<lod	<lod	<lod	-
Cu	0.9 ^c ; 10 ^b	3.1 ^c	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.009	0.03 ± 0.009	3.1 ^c
Ni	1 ^b	-	<lod	<lod	<lod	-
Co	Not determined	-	<lod	<lod	<lod	-
	Ultra-trace Elements					
Al	2-10 ^d	-	<lod	0.04 ± 0.01	<lod	-
Si	Not determined	-	0.12 ± 0.03	0.94 ± 0.13	0.31 ± 0.06	-
Ba	8-11 ^c ; 40 ^b	0.09-0.12 ^c	0.01 ± 0.007	0.01 ± 0.002	0.02 ± 0.004	0.09-0.12 ^c
Sr	Not determined	-	0.01 ± 0.005	0.03 ± 0.009	0.02 ± 0.004	-
B	20 ^b	0.1 ^b	0.02 ± 0.005	<lod	<lod	-

Ref.: lod= limit of detection; ⁽¹⁾ calculated on the basis of RDAs (recommended dietary allowances, www.nap.edu) and/or ULs (tolerable upper intake), based on the needs of men and women aged 19-50 years, where ^(a) is the Adequate intake (AI, www.nap.edu); ^(b) Tolerable upper intake level (UL, FNB 1998); ^(c) Recommended dietary allowance (RDA, www.nap.edu); ^(d) Typical daily intake (Nielsen, 2003); and ^(e) Estimated dietary intake (COT, 2003).- ⁽²⁾ Serving size: 3g of crude drug in 200mL boiling water and let stand 5 min - **Note:** essential trace elements **Cr, Se, V** and **Mo** and ultra-trace **Ti, Th, Pb, Sb, Ag, As, Cd, Hg, Sn, Ti**, and **U** were not detected in the tea-bag-like infusion.

Ref.: lod= límite de detección; ⁽¹⁾ calculado en base a las RDAs (consumo de referencia alimenticio, www.nap.edu) y/o ULs (ingesta máxima admisible), fundadas en las necesidades nutricionales de hombres y mujeres entre 19-50 años, donde ^(a) es la Ingesta Adecuada (AI, www.nap.edu); ^(b) el nivel de ingesta máxima admisible (UL, FNB 1998); ^(c) el consumo de referencia alimenticio (RDA, www.nap.edu); ^(d) la ingesta diaria típica (Nielsen, 2003); y ^(e) la ingesta dietaria estimada (COT, 2003).- ⁽²⁾ Tamaño de porción: 3 g de droga cruda en 200 ml de agua hirviendo y dejando reposar 5 min.- **Nota:** los elementos esenciales traza **Cr, Se, V** y **Mo** y los ultra-traza **Ti, Th, Pb, Sb, Ag, As, Cd, Hg, Sn, Ti** y **U** no fueron detectados en el "mate cocido".

Aluminium was the most abundant ultra-trace element, followed by Si; in both cases the concentration is significantly greatest in *IP*, near doubling that of *ID*. On the contrary, Sr appears more abundant in *ID*, and as for Ba, concentrations in both species are quite similar.

Other elements (Th, Ti, Pb and Sb) are present in low concentration (<4 mg kg⁻¹) in crude drug of both species, and the other ones (Ag, As, Cd, Hg, Sn, Tl and U) were found at concentrations below the instrumental limit. For this reason, it has been developed an analytic method with preconcentration, whereby were detected ultratrace of lead in infusions of yerba mate (7.6-8.9 µg L⁻¹; 38), always well below the admissible limits in foods (16).

The results are comparable to those of other studies carried out on leaves and leaves + stems of both plant species (especially *IP*; table 4, page 152), being included in the dispersion of values found both in Argentinean and Brazilian materials (24, 47, 53), although the methodology used here provides values for an unprecedented number of mineral elements.

Both *ID* and *IP* have shown similar amounts in terms of essential elements to crude drug of other plant species used for nutritional beverages, as coffee, tea, and cocoa (13, 18, 23, 24, 29), while the trace and ultra-trace elements varies from similar amounts to several times in more or less concentration, depending on botanical source, soil, climate and anthropogenic factors (2, 3, 40, 41).

From the nutritional point of view, the brewed mate of these species can be considered a source of Mg, Mn, Fe, Cu, and Al, because a serving provides more than 15% of dietary reference intake (DRI) of these minerals (table 5, page 153). Mn is present in large amounts (between 10-13 times more than daily requirements

in the case of *ID* and 7-9 times for *IP*), far exceeding the limit of upper daily intake (11 mg day⁻¹), but it should be noted that because of its low bioavailability (54), this mineral is absorbed by the human body only in 3% of their concentration (48), turning acceptable their high level in this form of consumption.

A serving of brewed mate also covers between 40-45% of daily needs of Mg, 15-38% of Fe requirement, 28-35% of the needs of Cu, and between 7.5-10% of K requirement. Regarding Aluminium, their contribution is higher in the brewed mate of *IP* (between 6-32%), and progressively reduced in the mixture (3-18%) and in *ID* (2-13%). Another important contribution is about Zn (c. 5-13%), and to a lesser extent those of Ca, P, Li, Ni and Ba.

The tea-bag-like infusion shows only 3 elements (Mn, Mg, and Cu) in interesting amount (table 6, page 154). A serving of *ID* infusion provides 60-80% of daily requirement of Mn, and 40-50% in the case of *IP*; hence, infusion of both species and its mixtures in any proportion can be considered sources of this element, in despite to their low absorption by the human body (48, 54). Cu and Mg are provided at a rate of 2-5% of the DRI, with minor differences between species.

For its part, K, Ca, P, Na, Fe, Zn, Si, Ba, Sr and B are present in smaller amounts than 1% of the daily requirement, while Li, Ni, Co, and Al appear below the instrumental limit. Finally, some trace essential elements (Cr, Se, V and Mo) and many ultra-trace elements (Ti, Th, Pb, Sb, Ag, As, Cd, Hg, Sn, Tl, and U) were not detected at all in these form of infusion.

Extractability

The two species showed differences in the extractability of minerals. *ID* had a higher extraction capacity for some elements, but

the aqueous extracts of *IP* are generally richer in minerals, especially by the original highest concentration in the crude drug, in addition to state and solubility of each mineral, as well as the relations established between them and with organic substances.

The extractability values for K, Mg, P, and Na ranging from 94% (K) to 37% (Mg), with noteworthy interspecific differences. *ID* has the highest extractability of Mg: 50% and 52% in brewed mate and tea-bag-like infusion respectively, compared with 35% and 37% in *IP*. This fact compensates the significantly lowest concentration shown by the crude drug of the former species (5200 vs. 7000 mg kg⁻¹).

As expected, Ca has a very low rate of extractability (2-8%), always higher in *ID*. Mn appears in high concentration in crude drug of both species, providing this element in large quantities to both aqueous extracts, although *ID* shows significantly greater extractability (75%) than *IP* (46%). Other elements extracted in a high proportion were Fe (40-60%), Cu (35-80%) and Ni (40-50%), but because the low concentration of the latter in the crude drug, it was not detected in the tea-bag-like infusion.

Both Cu and Zn are extracted in greater proportion from *IP*, which largely offset the lower concentrations of both elements in comparison with *ID*. In contrast, the extractability of Fe, Ni, Co, and Li showed no significant differences between these plant species. The Fe content is comparatively low, with similar values in both species, and polyphenols (that are abundant in these plants) could be responsible for the low dialyzability of this element.

Although Ag, As, Cd, Hg, Mo, Sn, Tl, and U were found in the crude drug, in the aqueous extracts were recorded below the instrumental limit. Cr, Pb, Sb, Se, Th, Ti, and V have exceeded the limit of detection in crude drug, but were not found in the extracts.

Heavy metals

Interpreted in the broadest sense of the word, none of the numerous analyzed heavy metals has been found in high concentration in crude drug of both species (table 4, page 152) except to Mn, whose quite low gastrointestinal absorption (47, 53) determines real values nearest to 0.6-0.8 mg day⁻¹ for brewed mate of *ID*, 0.3-0.6 mg day⁻¹ for *IP*, and 0.5-0.8 mg day⁻¹ for the mixture. Since most of them were not detected in the aqueous extracts (table 5, page 153; table 6, page 154), heavy metals are not a problem in daily intake of brewed mate and tea-bag-like infusion. From this point of view, and in our working conditions, both species constitute safe foods for human consumption.

CONCLUSIONS

At least 26 elements occur both in crude drug of *Ilex dumosa* (*ID*), *I. paraguariensis* (*IP*), and their commercial mixture (70:30 w/w). While *IP* shows c. 20% more ash concentration, *ID* reveals major extractability of minerals. The use form brewed mate in a gourd ("cebadura" or "chimarrão") is significantly more valuable from the standpoint of mineral nutrition than tea-bag-like infusion in a cup ("mate cocido" or "chá mate", 1.5% infusion).

The brewed mate is a dietary source of Mn, Mg, Cu and Fe, and contributes with an interesting amount of dietary intake of Zn, K, P, Al, Ni and Li. Instead, the tea-bag-like infusion provides only a low proportion of the daily requirements of Mn, Mg, and Cu. Moreover, both forms of use give a low amount of Na, while heavy metals never exceed the limits of food regulations.

REFERENCES

1. Abou-Arab, A. A. K.; Abou Donia, M. A. 2000. Heavy metals in Egyptian spices and medicinal plants and the effect of processing on their levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 2300-2304.
2. Alcalá-Jáuregui, J. A.; Rodríguez Ortiz, J. C.; Hernández Montoya, A.; Villarreal-Guerrero, F.; Cabrera Rodríguez, A.; Beltrán Morales, F. A.; Díaz Flores, P. E. 2014. Heavy metal contamination in sediments of a riparian area in San Luis Potosi, Mexico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(2): 203-221.
3. Alcalá Jáuregui, J.; Rodríguez Ortiz, J. C.; Hernández Montoya, A.; Diaz Flores, P. E.; Filippini, M. F.; Martínez Carretero, E. 2015. Cortezas de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) y *Schinus molle* (Anacardiaceae) como bioindicadoras de contaminación por metales pesados. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza*. 47(2): 83-95.
4. Argentina. 2006. "Código Alimentario Argentino, Resolución Conjunta 41/2006-SPRRS y 641/2006-SAGPA, Sustitúyese el artículo 1192 del mencionado Código." In: Boletín Oficial de la República Argentina n° 31.008. Buenos Aires, 10 de octubre de 2006.
5. Bertoni, M. H., Prat-Kricun, S. D.; Känzig, R. G.; Catáneo, Y. P. 1993. Hojas frescas de especies de *Ilex* (Aquifoliaceae), IV. Composición química general de hojas de *Ilex dumosa* e *Ilex brevicuspis*. *Anales de la Asociación Química Argentina*. 81(1): 1-8.
6. Bowman, B. A.; Russell, R. M. (eds.). 2003. *Conocimientos actuales sobre nutrición*. 8va. ed. Washington. Organización Panamericana de la Salud. Publ. Cient. y Técn. 592. p. 297-437.
7. CAA (Código Alimentario Argentino). 2009-2010 a. Código Alimentario Argentino, Cap. XV, art. 1192 [*Ilex paraguariensis*]. ANMAT/INAME. Available from: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp/ (Accessed January 2011).
8. CAA (Código Alimentario Argentino). 2009-2010 b. Código Alimentario Argentino, Cap. XV, art. 1193 [*Ilex dumosa*]. ANMAT/INAME. Available from: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp/ (Accessed January 2011).
9. Carducci, C. N.; Dabas, P. C.; Muse, J. O. 2000. Determination of inorganic cations by capillary ion electrophoresis in *Ilex paraguariensis* (St. H.), a plant used to prepare tea in South America. *Journal of AOAC International*. 83: 1167-1173.
10. Córdoba Bragança, V. L.; Melnikov, P.; Zaroni, L. Z. 2011. Trace elements in different brands of yerba mate tea. *Biological Trace Element Research*. 144(1): 1197-1204.
11. Chile. 1996. Reglamento Sanitario de los Alimentos: "De la Yerba Mate", Art. 454. Decreto Supremo n° 977/96, párrafo II, p. 156-157.
12. COT (Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment). (2003) 2000. Total diet study of twelve elements (COT 2003/39). p. 5-6. Available from: <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/TOX-2003-39.PDF> (Accessed March 2008).
13. De Ferrara, L.; Montesano, D.; Senatore, A. 2001. The distribution of minerals and flavonoids in the tea plant (*Camellia sinensis*). *Il Farmaco*. 56: 397-401.
14. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 2008. Infostat, versión 2008. Córdoba, Argentina. Grupo Infostat.
15. Duke, J. A. 1992. *Handbook of Phytochemical Constituents of GRAS Herbs and Other Economic Plants*. Boca Ratón, FL, U.S.A., CRC Press.
16. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2003. EPA National Primary Drinking Water Standards. June 2003. 816-F-03-016. Office of Water (4606M). Available from: <http://www.epa.gov/safewater/contaminats/index.html> (Accessed July 2014).
17. FNB (Food and Nutrition Board). 1998. Dietary reference intakes: a risk assesment model for establishing upper intake levels for nutrients. USA, Institute of Medicine, Natl. Academies Press, p. 22. Available from: <http://www.nap.edu> (Accessed November 2007).
18. Gebhart, S. E.; Thomas, R. G. 2002. Nutritive value of foods. USDA, Agriculture Research Services, Home & Garden Bulletin. 72: 1-95.
19. Giberti, G. C. 1989. Los parientes silvestres de la yerba mate y el problema de su adulteración. *Dominguezia*. 7: 1-22.

20. Giuliani, R.; Iochims Dos Santos, C. E.; de Moraes Shubeita, S.; Manfredi da Silva, L.; Ferraz Diaz, J.; Luã Cia Yoneama, M. 2007. Elemental characterization of commercial mate tea leaves (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) before and after hot water infusion using ion beam techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 741-746.
21. Gomes da Costa, A. M.; Nogami, E. M.; Visentainer, J. V.; De Souza, N. E.; Egea García, E. 2009. Fractionation of Aluminium in commercial green and roasted yerba mate samples (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) and their infusions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 196-200.
22. Gómez, M. R.; Cerutti, S.; Sombra, L. L.; Silva, M. F.; Martínez, L. D. 2007. Determination of heavy metals for the quality control in Argentinian herbal remedies by ETAAS and ICP-OES. *Food and Chemical Toxicology*. 45: 1060-1064.
23. Graham, H. N. 1992. Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry. *Preventive Medicine*. 21(3): 334-350.
24. Heinrichs, R.; Malavolta, E. 2001. Composição mineral do produto comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). *Ciência Rural*, Santa Maria. 31(5): 781-5.
25. ICH (International Conference of Harmonization). 1994. Harmonised tripartite guideline. Text on Validation of analytical procedures. Geneva.
26. Kara, D. 2009. Evaluation of trace metal concentrations in some herbs and herbal teas by principal component analysis. *Food Chemistry*, 78: 119-127.
27. Kochol, R.; Malgor, L.; Verges, E.; Valsecia, M.; Mendoza, L.; Maiocchi, M.G. 2003. Estudio de efectos adversos de extractos de saponinas obtenidas de *Ilex paraguariensis* y de una nueva especie de yerba mate: *Ilex dumosa* Reiss. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE*, 2003. M-034.
28. Leprevost, A. 1987. Química e Tecnologia da Erva Mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hill). *Boletín Técnico* 53, Instituto de Tecnología do Paraná, 1: 2-18.
29. Li, C.H.; Wang, Y. 2009. Mineral elements in different varieties of *Camellia sinensis*. *Agricultural Science & Technology-Hunan*. 10(1): 105-107.
30. Luna, C.; Sansberro, P.; Mroginski, L.; Tarragó, J. 2003. Micropropagation of *Ilex dumosa* (Aquifoliaceae) from nodal segments in a tissue culture system. *Biocell*. 27(2): 205-212.
31. Maiocchi, M. G. 2012. Optimización del proceso de producción de *Ilex dumosa* para la obtención de infusiones y su caracterización farmacobotánica y farmacognóstica. Estudio comparativo con *Ilex paraguariensis*. Tesis de posgrado. Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura. Corrientes, Argentina. Universidad Nacional del Nordeste. p. 1-196.
32. Maiocchi, M. G.; Avanza, J. 1997. Contenidos en saponinas de los extractos de *Ilex paraguariensis* e *Ilex dumosa*. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE*. 7: 83-86.
33. Maiocchi, M. G.; Avanza, J. 1998. Contenido de ácidos clorogénicos en *Ilex paraguariensis* e *Ilex dumosa* procesada con idéntica tecnología. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE*. 8: 171-74.
34. Maiocchi, M. G.; Moyano, S.; Martínez, L. D.; Avanza J. 2002. Estudio comparativo del contenido de minerales en *Ilex paraguariensis* e *Ilex dumosa*. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE*, 2002: 1-4.
35. Maiocchi, M. G.; Ocampo, A.; Avanza, J. 2003. Estudio comparativo de aceites esenciales de *Ilex paraguariensis* e *I. dumosa* procesadas. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE*. Res. E-064.
36. Maiocchi, M. G.; Avanza, J. 2004. Degradación de clorofilas y feofitinas a diferentes temperaturas en *Ilex dumosa* e *Ilex paraguariensis*. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE*. Res. E-085.
37. Maiocchi, M.G.; Téves, M.; Del Vitto, L. A.; Avanza, M. V.; Petenatti, E. M. 2011b. Comparative physicochemical parameters of infusions ("mate") of two species of *Ilex* (Aquifoliaceae). *Biocell*. 35: 54.
38. Malik, J.; Szakova, J.; Drabek, O.; Balik, J.; Kokoska, L. 2008. Determination of certain micro and macro elements in plant stimulants and their infusions. *Food Chem*. 111: 520-525.

39. Marchisio, P. F.; Sales, A.; Cerutti, S.; Marchevski, E.; Martinez, L. D. 2005. On-line preconcentration/determination of lead in *Ilex paraguariensis* samples (Mate tea) using polyurethane foam as filter and USN-ICP-OES. *J Hazard Mater.* 124: 113-8.
40. Martí, L.; Filippini, M. F.; Bermejillo, A.; Troilo, A.; Salcedo, C.; Valdés, A. 2009. Monitoreo de cadmio y plomo en los principales fungicidas cúpricos comercializados en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 41(2): 109-116.
41. Martí, L.; Filippini, M. F.; Salcedo, C.; Drovandi, A.; Troilo, S.; Valdés, A. 2011. Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 43(2): 203-221.
42. Nielsen, F. H. 2003. Boro, manganeso, molibdeno y otros oligoelementos. En: Bowman, B. A.; Russell, R. M. (eds.). *Conocimientos actuales sobre nutrición.* 8va. ed. Washington. Organización Panamericana de la Salud. Publ. Cient. y Técn. 592.
43. Prat-Kricun, S. D. 2011. Cultivo y cosecha de Dumosa (*Ilex dumosa* R. var. *dumosa*) en Misiones y NE de Corrientes. Misiones, Argentina. EEA Cerro Azul, INTA. Miscelánea N° 64. p. 1-23.
44. Prat-Kricun, S. D.; Belingheri, L. D. 1995. Recolección de especies silvestres y cultivadas del género *Ilex*. En: *Erva Mate. Biología e Cultura no Cone Sul.* Porto Alegre, Brasil. Editora da Universidade (UFRS). 313-334.
45. Prichard, E.; Mackay, G. M.; Points, J. 1996. *Trace Analysis: A structures approach to obtaining reliable results.* London, The Royal Society of Chemistry. p. 38.
46. Ramallo, L. A.; Smorzewski, M.; Valdez, E. C. 1998. Contenido nutricional del extracto acuoso de la yerba mate en tres formas diferentes de consumo. *La Alimentación Latinoamericana,* Buenos Aires. 225: 48-52.
47. Reissmann, C. B.; Radomski, M. I.; Bianchini de Quadros, R. M. 1999. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. under different management conditions in seven localities of Parana State. *Brazilian Archives of Biology & Technology.* 42: 187-94.
48. Safe Drinking Water Committee. 1980. *Drinking water and health.* Vol. 3. Washington. Natl. Acad. of Sciences [Manganese, p. 331-337].
49. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRIs. 1997. DRIs for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride. Washington. Natl. Academies Press. p. 71-249, 288-313.
50. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRIs. 2000a. DRIs for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. Washington. Natl. Academies Press. p. 284-324.
51. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRIs. 2000b. DRIs for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington. Natl. Academies Press. p. 197-553.
52. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRIs. 2004. DRIs for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulphate. Washington. Natl. Academies Press. p. 186-448.
53. Valduga, E.; Sossela de Freitas, R. J.; Reissmann, C. B.; Nakashima, T. 1997. Caracterização química da folha de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (erva-mate) e de outras espécies. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos.* 15(1): 25-36.
54. WHO (World Health Organization). 2011. Manganese in drinking water. Rev/1. Geneva, WHO Press. p. 1-21.
55. Wróbel, K.; Wróbel, K.; Colunga Urbina, E. M. Determination of total aluminium, chromium, copper, iron, manganese, and nickel and their fractions leached to the infusions of black tea, green tea, *Hibiscus subdariffa*, and *Ilex paraguariensis* (Mate) by ETA-AAS. *Biological Trace Element Research.* 78: 271-280.

ACKNOWLEDGEMENTS

We express our gratitude to the hierarchical and technical staff of Establecimiento "Las Marías" for access to certified material and technical assistance, to Projects 2-1014 SECyT-UNSL and 22-Q/416 SPU-ME for financial support, to the Academic Committee of the Journal and two anonymous reviewers for their valuable contribution.

Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino

Green and blue water footprint of corn (*Zea mays*) production in central and northeastern provinces of argentina

Alisa Alvarez ¹, José A. Morábito ^{1,2}, Carlos Schilardi ²

Originales: *Recepción: 27/02/2015- Aceptación: 22/03/2016*

RESUMEN

La huella hídrica (HH) de un cultivo indica la cantidad de agua evapotranspirada para obtener una determinada producción, distinguiendo entre el agua procedente de las precipitaciones (verde) y el agua extraída de ríos, lagos y acuíferos, aplicada mediante riego (azul). Son objetivos del trabajo estimar las HH verde y azul del maíz en provincias del centro y del noreste argentino bajo tres condiciones (secano, riego y riego y fertilidad edáfica óptimos) y analizar el impacto de estas prácticas. Se siguió la metodología internacionalmente aceptada utilizando el modelo AquaCrop. Los resultados mostraron: que el riego y la fertilización reducen la HH debido al aumento del rendimiento; que la huella hídrica verde representa el 92% de la sumatoria (verde más azul) y que la huella hídrica calculada en secano alcanza un valor medio de 803 L.kg⁻¹ (bajo riego este valor es de 602 L.kg⁻¹ y con riego y fertilidad edáfica óptimos, de 488 L.kg⁻¹). Esta información permite al productor valorar convenientemente las prácticas de riego y el uso eficiente de fertilizantes y concientiza a los administradores del recurso hídrico sobre la necesidad de diseñar políticas adecuadas para el uso sostenible del agua.

Palabras clave:

huella hídrica • maíz • AquaCrop • evapotranspiración • riego • secano

1 Centro Regional Andino. Instituto Nacional del Agua. Belgrano 210 Oeste (M55500FIF). Mendoza. Argentina. jmorabito@ina.gob.ar

2 Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Cuyo. Almirante Brown 500- Luján. C. P. M5528AHB. Mendoza. Argentina.

ABSTRACT

The water footprint (WF) of a crop shows the volume of evapotranspired water required to produce a given yield. The WF splits up into the green WF, which is the volume of rainwater consumed, and the blue WF, which refers to the volume of surface and ground water applied through irrigation. The project consists in calculating the green and blue WF value for corn in central and northeastern provinces of Argentina under rainfed, irrigated, and optimum irrigation and soil fertility conditions, and in analyzing the impacts of these practices. Internationally accepted methodology and the AquaCrop model were used to simulate ETc and crop yield. It was observed that by applying irrigation and increasing fertility the WF is reduced, this is due to the increase in yield. The green WF represents 92% of the combined sum (green plus blue). The calculated mean WF (green plus blue) is 803 L.kg⁻¹ for rainfed farming, 602 L.kg⁻¹ for irrigated agriculture; and 488 L.kg⁻¹ for production under optimum irrigation and soil fertility conditions. This information helps producers to adequately assess irrigation practices and the efficient use of fertilizers, and raises awareness among water administrators of the need for suitable policies for sustainable water use.

Keywords

water footprint • corn • AquaCrop • evapotranspiration • irrigation • rainfed

INTRODUCCIÓN

Como es bien sabido, el agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida en el planeta y representa un recurso esencial para el desarrollo social y económico de un país. Argentina se encuentra ubicada en el puesto diecisiete en el ranking de disponibilidad de recursos hídricos renovables del mundo (20). Posición estratégica frente a lo que hoy es uno de los principales desafíos que enfrenta la gestión sustentable de los recursos hídricos. En Argentina, aproximadamente el 70% del agua dulce disponible es utilizada en la actividad agrícola, por lo que resulta primordial el análisis de su consumo y de los impactos asociados a la actividad.

Paralelamente, como consecuencia del crecimiento de la población y el desarrollo de sociedades emergentes, el requerimiento de alimentos, fibras y

biocombustibles va en aumento, lo que incrementa la demanda de agua para riego y consecuentemente las perspectivas de escasez hídrica serán mayores (10). Globalmente el 60 % de los alimentos son producidos bajo condiciones de secano (11). La crisis del agua se presenta como un problema de mala gestión (2).

La mayoría de los estudios coinciden en que hoy -en el mundo- hay suficientes recursos hídricos para satisfacer la demanda de alimentos, aunque con disponibilidad geográfica desigual.

En el año 2002 surge el concepto de huella hídrica (water footprint) desarrollado por Hoekstra y Hung con el objetivo de obtener un indicador que relacionara el uso del agua con el consumo humano (18). Así, la huella hídrica se presenta como un indicador de sostenibilidad complementario que

permite conocer cuál es el volumen total de agua que se necesita para producir los bienes y servicios de una población.

Para la agricultura, uno de los aspectos más relevantes de la huella hídrica, es que permite diferenciar el agua consumida según su procedencia, distinguiendo entre huella hídrica azul y huella hídrica verde. De esta forma, la huella hídrica total se define como el volumen de agua consumida por unidad de producción y puede descomponerse en huella hídrica verde, que es el agua verde utilizada por unidad de rendimiento; huella hídrica azul que corresponde al agua azul por unidad de rendimiento; y por último, huella hídrica gris, refiriéndose a la contaminación, la cual se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes en base a los estándares de calidad del agua existentes en el ambiente (13). Se denomina agua azul al agua procedente de ríos, lagos y acuíferos que es aplicada mediante riego y agua verde a la procedente de las precipitaciones que queda retenida en el suelo (19). Esta distinción es importante ya que ambas poseen diferentes características en cuanto a costo de oportunidad e impacto hidrológico y medioambiental, como también son diferentes las políticas que administran y gestionan cada una de ellas (19).

Tanto el agua azul como la verde, son recursos importantes para la producción de alimentos. La agricultura de secano utiliza únicamente agua verde mientras que la agricultura de regadío consume agua verde y azul (11).

En general, estudios relacionados con la disponibilidad de agua dulce están orientados a la cuantificación del agua azul mientras que ignoran el agua verde como parte de los recursos hídricos (11).

El cultivo de maíz en Argentina ha sido determinante para el desarrollo agrícola nacional. A partir de la década del 50, con la incorporación de los adelantos tecnológicos, especialmente provenientes de la Genética, comenzó una nueva etapa de consolidación caracterizada por el aumento de los rindes unitarios.

En la actualidad, la distribución geográfica del maíz se concentra principalmente en la denominada zona núcleo: el 30% de la superficie sembrada corresponde a la provincia de Córdoba, el 29% a Buenos Aires y el 12 % a Santa Fe. El 29% restante se distribuye entre La Pampa y Santiago del Estero.

En el ámbito nacional el maíz es la quinta cadena agroindustrial en orden de importancia, luego de la soja, la carne bovina, la leche y el trigo.

Si se incorporaran las actividades que tienen al maíz como insumo, tales como la producción de carne bovina, porcina y aviar, o la lechería, alcanzaría una importancia dentro de las cadenas agroindustriales nacionales de magnitud similar a la de la soja. El producto bruto generado por el maíz en la campaña 2006/07 alcanzó un valor equivalente a 5.446 millones de dólares (3).

Dada la relevancia del cultivo, su utilización en otras cadenas productivas, la posibilidad de uso como biocombustible, etc. es fundamental el análisis de indicadores de sustentabilidad de los recursos hídricos utilizados en su producción.

A su vez, al ser el maíz un producto de exportación, la estimación de su huella hídrica es de gran utilidad para analizar los flujos de agua virtual que acompañan a dichas exportaciones.

Se plantea como hipótesis que la HH del maíz adecuadamente regado y fertilizado será menor que la HH del mismo cultivo en secano debido al aumento de la producción.

En el presente trabajo se busca estimar la huella hídrica verde y azul para el maíz, en algunas provincias del centro y del noreste argentino bajo tres condiciones: (a) secano, (b) riego y (c) óptimas condiciones de riego y fertilidad edáfica, y analizar el impacto de estas prácticas sobre la HH para concientizar a productores y administradores del recurso hídrico. Para esto se utilizó la metodología presentada en el "Manual de evaluación de Huella Hídrica" (14). En ella se considera que la huella hídrica total, es decir los litros de agua consumidos por unidad de producto, está compuesta por la huella hídrica verde, la huella hídrica azul y la huella hídrica gris. Esta última no ha podido ser estimada debido a la falta de disponibilidad de datos para ello y solo se ha calculado las huellas verde y azul.

Los datos para la estimación de la huella hídrica se basaron en simulaciones realizadas mediante el modelo AquaCrop (FAO) (8) que simula el desarrollo de la biomasa potencial del cultivo y la producción esperable en respuesta al agua disponible (18). Se trata de un modelo simple, robusto y confiable, que considera variables climáticas, prácticas de manejo, características de los cultivos y suelos, como también las condiciones iniciales de humedad edáfica.

El modelo simula también el balance hídrico arrojando valores de evaporación del suelo y transpiración del cultivo. Presenta la ventaja de ser relativamente sencillo en comparación con otros similares, obteniendo resultados confiables (6, 18) y se ha utilizado con buen ajuste en varias regiones agrícolas del mundo (12).

METODOLOGÍA

El primer paso fue la calibración de la respuesta del cultivo al riego y en situación de secano utilizando el modelo AquaCrop (8).

Una vez realizada esta operación se estimó la huella hídrica para tres condiciones diferentes, dos que se presentan normalmente y una tercera considerada como recomendada:

- Secano y fertilidad al 60% (S).
- Riego y fertilidad al 80% (RFN).
- Riego programado con AquaCrop, sin limitaciones de fertilidad (100%) o "riego óptimo" (RFO).

El área de estudio comprendió a las provincias del centro y noreste Argentino (Santa Fe, Córdoba, Santiago del Estero, Entre Ríos, Corrientes, Chaco, Formosa y Misiones). Se dispuso utilizar información procedente de 10 estaciones meteorológicas espacialmente localizadas en la zona, para una serie continua de 20 años (1990-2010) cuyos datos fueron aportados (21).

La secuencia de pasos fue la siguiente: una vez calibrado, se modeló la producción del cultivo mediante AquaCrop (8) para las estaciones meteorológicas seleccionadas dentro de la región maicera del país. Se tuvo en cuenta las particularidades del área, básicamente clima y suelos más representativos de cada lugar considerando:

- densidad de siembra: 75.000 plantas por hectárea.
- índice de cosecha: 50
- profundidad de la freática: 3m
- método de riego: por superficie (surcos)

Las estaciones seleccionadas fueron: Ceres y Reconquista (Santa Fe), Formosa y Las Lomitas (Formosa), Laboulaye y Pilar (Córdoba), Montecaseros (Corrientes), Paraná (Entre Ríos), Posadas (Misiones) y Roque Sáenz Peña (Chaco), tabla 1 (pág. 165).

Tabla 1: Estaciones meteorológicas seleccionadas.

Table 1: Selected weather stations.

Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m s. n. m.)	Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m s. n. m.)
Ceres aero	29°53'	61°57'	88	Reconquista-aero	29°11"	59°40'	49
Laboulaye	34°08'	63°24'	138	P. R. Sáenz Peña	26°49'	60°27'	90
Las Lomitas	24°42'	60°35'	130	Formosa-aero	26°12'	58°14'	60
Paraná-aero	31°47'	60°29'	62	Posadas	27°22'	55°58'	133
Pilar-obs.	31°40'	63°53'	338	Montecaseros	30°16'	57°39'	54

La condición 1) "secano" se tuvo en cuenta ya que es la forma predominante de producción de maíz en la zona de estudio y la condición 2) "riego", ya que se pretende analizar el impacto en la HH de maíz consumiendo agua azul (riego). La condición 3) "optima fertilidad y humedad edáfica" se simuló con el fin de tener un valor "ideal" de referencia. Con respecto a la fertilidad del suelo, se consideró -para secano- un nivel del 60 % y, bajo riego, del 80%. Este criterio se basó en el postulado de que, en condiciones de riego, los agricultores consideran la fertilización como una práctica complementaria.

Se simularon 20 años (1990-2010) en situación de secano (S), con riegos denominados "oportunos", es decir generados en el programa por el operador en forma manual, determinando la lámina y el momento adecuado de riego en función del agotamiento del agua en la zona radical, evitando que la planta sufra estrés hídrico (RFN). Por último, en la tercera situación (RFO) se generaron los programas de riego mediante la especificación de un tiempo y una lámina de agua a aplicar asumiendo, la simulación de una condición óptima que asegure la producción potencial.

En cuanto a las fechas de siembra, en el trabajo se consideró dos fechas representativas: 15 de octubre para el

área de influencia de las estaciones meteorológicas de Formosa, Posadas, Paraná, Pilar, Reconquista y Montecaseros; y el 20 de noviembre para el resto (Las Lomitas, Ceres, Laboulaye y Roque Sáenz Peña). Estas fechas son las que normalmente usan los agricultores considerando las condiciones climáticas de cada región.

Las condiciones iniciales de humedad del suelo se estimaron en función de las precipitaciones ocurridas en cada zona considerando dos meses previos a la siembra.

Es pertinente destacar que, en las localidades de Ceres, Reconquista y Pilar, en varias oportunidades se incrementaron las condiciones iniciales de humedad presuponiendo que -ante situaciones de escasez hídrica en los meses previos a la siembra y disponiendo de infraestructura/equipamiento para regar- el productor aplicaría un riego previo al inicio del ciclo, con el objeto de asegurar un nivel razonable de humedad inicial.

Estimación de la huella hídrica

Obtención de los datos

Los valores de evaporación y transpiración durante el ciclo del cultivo se obtuvieron por separado utilizando el modelo AquaCrop y, posteriormente, mediante la sumatoria de los mismos se calculó ETC.

La lámina de riego simulada en la condición RFN fue decidida por el operador del programa en función del nivel de agotamiento del agua en el suelo, para no reducir significativamente los rendimientos. Para la condición RFO el programa calcula la lámina de riego para lograr la máxima producción con la óptima fertilidad.

Los valores de rendimiento de los cultivos se obtuvo de la simulación en AquaCrop.

Para la situación de cultivo en secano se consideró los años en los que hubo cosecha (para el cálculo del valor promedio no se tuvo en cuenta aquellos años donde las precipitaciones fueron escasas y por lo tanto la producción no justificaba su recolección). Para obtener el promedio de producción en los casos de riego se tuvo en cuenta los 20 años analizados.

Estimación de huella hídrica

Como indica la metodología, la huella hídrica verde se refiere al volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción (ecuación 1). Esto es particularmente relevante para los productos agrícolas y forestales, en cuanto se refiere a la evapotranspiración del agua de lluvia total (14).

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (1)$$

donde:

WF_{green} = huella hídrica verde (L.kg⁻¹).

CWU: componente verde en el uso del agua (L.ha⁻¹).

Y: rendimiento del cultivo (kg.ha⁻¹).

La huella hídrica azul (ecuación 2) hace referencia al uso consuntivo del agua de riego, proveniente de fuentes de agua de origen superficial (producto de

la escorrentía) o subterráneo (en ambos casos este agua no vuelve a la cuenca en forma de flujo de retorno). Representa el volumen que ha sido efectivamente retirado del flujo de escorrentía total, por lo que muestra la "capacidad de apropiación del suministro" (14) y -por lo tanto- sería la fracción evapotranspirada que ha sido cubierta por el agua de riego aplicada al cultivo.

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (2)$$

donde:

WF_{blue} = huella hídrica azul (L.kg⁻¹).

CWU = componente azul en el uso del agua (L.ha⁻¹).

Y = rendimiento del cultivo (kg.ha⁻¹).

En el presente, trabajo la huella hídrica se calculó mediante la suma de la huella hídrica verde y la huella hídrica azul; es decir, el cociente entre la evapotranspiración del cultivo (verde en condiciones de secano y, verde más azul en los casos de riego) y el rendimiento (ecuación 3):

(3)

HH Total (verde más azul) = ET_c / rendimiento

Vale la pena destacar que la huella hídrica verde corresponde al agua de lluvia utilizada por los cultivos (componente verde).

A su vez, en este caso, como se trataba de riegos oportunos y con láminas adecuadas (que no generaban escurrimiento ni percolación profunda o eran despreciables), se estimó la huella hídrica azul como la lámina de riego aplicada y la huella hídrica verde como la diferencia entre la cantidad total de agua evapotranspirada por el cultivo y el agua aplicada mediante riego, asumiendo que la totalidad del agua de riego es aprovechada por la planta.

A partir de estos resultados se obtuvo los valores promedio de huella hídrica y se trazó mapas de isolíneas para visualizar e interpretar mejor los resultados (se elaboró mapas de huella hídrica verde más azul y de cada una de ellas por separado).

Por último, se compararon los valores estimados en este trabajo con los valores de referencia citados para Argentina por Raes *et al.* (2009) y con otros estudios que han estimado la huella hídrica de maíz en distintas regiones del mundo.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos para las estaciones analizadas se muestran en la tabla 2.

Se puede observar que al aplicar riego y aumentar la fertilidad se reduce la huella

hídrica del cultivo de maíz. Esto se debe al aumento de los rendimientos producido por la conjunción del agua de riego y el aumento de la fertilidad.

Si se analizan los coeficientes de variación de los 20 años estudiados para la huella hídrica (verde más azul), se observa que en la mayoría de las estaciones el riego reduce la variabilidad y en otras esta se mantiene constante.

En el caso de riego óptimo el coeficiente de variación respecto del riego aumenta -en algunos casos- en un 1% y en otros se mantiene constante.

En la figura 1 (pág. 168), se observa que en condiciones de secano las isolíneas de huella hídrica (verde más azul) aumentan en la dirección nor-oeste, es decir, a medida que se reducen las precipitaciones.

Tabla 2. Huella hídrica (verde más azul): valores promedio (L.kg⁻¹) y coeficiente de variación (%) para los tres escenarios analizados

Table 2. Water footprint (green plus blue): average (L.kg⁻¹) and variation coefficient (%) values for three scenarios analyzed.

Estaciones meteorológicas	Secano (a)		Riego (b)		Riego óptimo (c)	
	Huella hídrica (verde más azul) (L.kg ⁻¹)	CV (%)	Huella hídrica (verde más azul) (L.kg ⁻¹)	CV (%)	Huella hídrica (verde más azul) (L.kg ⁻¹)	CV (%)
Ceres-aero	799	10	590	5	480	6
Laboulaye	733	6	567	5	461	6
Las Lomitas	810	6	621	6	500	6
Paraná-aero	771	6	601	6	486	6
Pilar-observatorio	845	21	577	5	472	6
Reconquista-aero	856	13	614	6	499	7
P.R. Sáenz Peña	806	6	605	3	494	3
Formosa-aero	875	5	671	4	537	4
Posadas	773	6	591	5	477	5
Montecaseros	761	5	586	5	473	6
Promedio	803	-	602	-	488	-

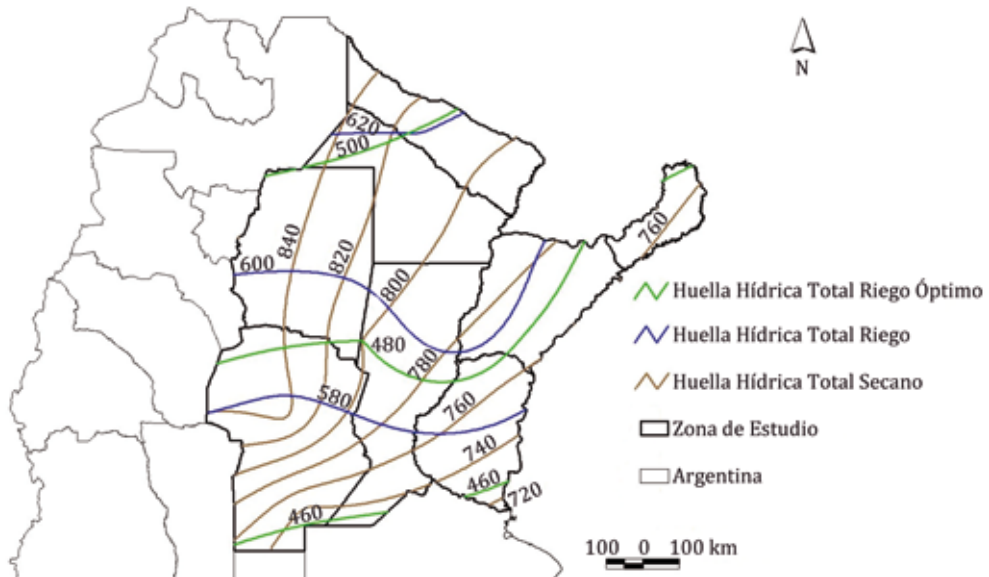


Figura 1. Huella hídrica total (verde más azul) para maíz en el centro y noreste de Argentina ($L.kg^{-1}$) para las tres condiciones del estudio

Figure 1. Total corn water footprint (green plus blue) in central and northeastern of Argentina ($L.kg^{-1}$) for the three studied conditions.

Si se analizan las isóneas correspondientes a la condición bajo riego se observa que -en general- los valores son menores que en secano (580 a 620 vs 730 a 840 $L.kg^{-1}$, respectivamente). Esto se debe a que si bien aumenta la cantidad de agua utilizada (lluvia + riego), al mejorar las condiciones de humedad edáfica y de fertilidad, se incrementa la producción del cultivo, disminuyendo la huella hídrica.

En este caso la huella hídrica (verde más azul) crece hacia el norte del área de estudio y se mantiene homogénea en sentido este-oeste. Por último, cuando el análisis se refiere a las condiciones riego y fertilidad óptimas, ocurre lo mismo que para la opción riego con valores que varían desde 460 a 540 $L.kg^{-1}$. Esto significa que bajo estas condiciones, la huella hídrica

(verde más azul) es menor que la obtenida en condiciones de riego y fertilidad al 80%. Se observa además, una mayor uniformidad de los valores en el sentido este-oeste del área, atribuible al riego.

Con respecto a la diferenciación entre huella hídrica azul y huella hídrica verde, la figura 2 permite observar que para el caso de riego más fertilidad edáfica al 80%, la huella hídrica verde aumenta hacia al noreste (incremento de las precipitaciones) y constituye la mayor proporción, mientras que en las zonas de menor precipitación aumenta la necesidad de riego de los cultivos y, consecuentemente, la huella hídrica azul.

Para el caso riego y fertilidad edáfica óptima se observa un incremento de los valores de huella hídrica verde hacia el este del área de estudio.



Figura 2. Huella hídrica verde del cultivo de maíz ($L.kg^{-1}$) en tres condiciones: secano y fertilidad edáfica al 60%, riego y fertilidad edáfica al 80%, riego y fertilidad edáfica óptimos.

Figure 2. Green water footprint of corn production under different conditions: rainfed farming and 60% soil fertility; irrigation and 80% soil fertility; and optimum irrigation and soil fertility.

Al compararla con la huella hídrica verde en la situación de riego más fertilidad edáfica al 80%, se observa que a pesar de aplicar mayor cantidad de agua mediante riego, los valores son menores (incremento de la producción por mayor disponibilidad de agua junto con una óptima fertilidad).

Si se analiza la huella hídrica azul (figura 3, pág. 170) puede verse que -en ambos casos (riego y riego óptimo)-su valor aumenta hacia el oeste, coincidiendo con la disminución de las precipitaciones en este sentido. En el caso de riego optimizado (8) los valores de huella hídrica azul resultan mayores.

Con respecto a las láminas aplicadas, se observa que en el riego programado

por AquaCrop (8) y sin limitaciones de fertilidad, estas son mayores que en condiciones de riego con fertilidad edáfica al 80% (tabla 3, pág. 170). La lámina promedio aplicada en la zona de estudio en condiciones de riego con fertilidad edáfica al 80% fue de 44 mm y, en condiciones de riego óptimo y sin limitaciones de fertilidad, de 106 mm (incremento promedio de 62mm).

La ETC del maíz en secano para el área de estudio alcanzó valores medios de 562 mm en el ciclo, mientras que en el caso de riego y riego con fertilidad óptima, los valores obtenidos fueron de 591 y 596 mm respectivamente. El agua azul representó hasta un 20% de la ETC en la situación riego y hasta un 35% en riego y fertilidad óptima.

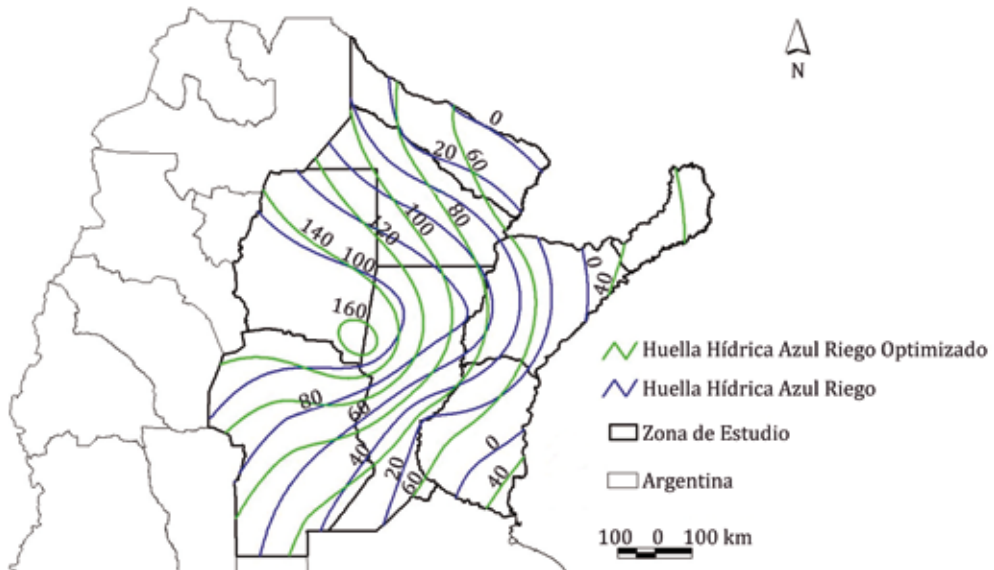


Figura 3. Huella hídrica azul del cultivo de maíz ($L.kg^{-1}$) en dos condiciones: riego y fertilidad edáfica al 80%, riego y fertilidad edáfica óptimos

Figure 3. Blue water footprint of corn production under different conditions: irrigation and 80% soil fertility; and optimum irrigation and soil fertility.

Tabla 3. Láminas medias de riego y riego óptimo, variabilidad e incremento para las distintas estaciones meteorológicas analizadas

Table 3. Mean and optimal irrigations depths (mm), variability and incremental irrigation depth for each meteorological station analyzed.

Estaciones	Lámina media riego (mm)	CV	Lámina media Riego óptimo (mm) (programado por AquaCrop)	CV	Incremento de riego (mm)
Ceres-aero	114	0,76	205	0,55	91
Laboulaye	44	0,95	94	0,89	50
Las Lomitas	5	2,44	83	1,48	79
Paraná-aero	14	2,94	86	1,24	72
Pilar-observatorio	78	0,65	131	0,58	53
Reconquista-aero	83	0,93	182	0,74	99
P.R. Sáenz Peña	59	1,16	107	0,82	48
Formosa-aero	13	2,74	54	2,49	41
Posadas	21	2,06	53	1,44	32
Montecaseros	14	1,97	65	1,09	51
Promedio	44		106		62

En la tabla 4 se registra la producción media para las distintas estaciones meteorológicas seleccionadas, en las condiciones planteadas en el estudio, secano, riego con fertilidad edáfica al 80% y de riego sin limitaciones de fertilidad.

Puede verse que el incremento de producción promedio obtenido con riego y fertilidad edáfica al 80% respecto de secano fue del 39%, el resultante de aplicar riego y fertilidad edáfica óptima respecto de secano fue 73% y el debido a riego y fertilidad edáfica óptima respecto de riego y fertilidad edáfica al 80% resultó del 25%.

Resulta interesante resaltar que al aplicar riego -más allá de los incrementos de producción- lo importante es que el agricultor se asegura todos los años una buena cosecha (estabilidad), independientemente de la ocurrencia de precipitaciones.

DISCUSIÓN

Según Mekonnen y Hoekstra (2010), quienes estimaron la huella hídrica mundial analizando 126 cultivos en el período 1996-2005, la contribución de la huella hídrica verde a la huella hídrica de consumo total (verde más azul) fue de 86%.

Los valores medios mundiales de huella hídrica verde para maíz, en secano y en agricultura de regadío para el período 1996-2005 fueron: 1.082 L kg⁻¹ y 595 L kg⁻¹, respectivamente. La huella hídrica azul media mundial en condiciones de regadío es de 294 L.kg⁻¹.

Los valores encontrados en el presente trabajo para el centro-noreste argentino fueron: huella hídrica verde, en secano, 26% por debajo del promedio mundial; huella hídrica verde bajo riego, cercano al promedio mundial (557 L.kg⁻¹ vs 595 L.kg⁻¹) y huella hídrica azul, considerablemente menor que el promedio mundial (45 L.kg⁻¹ vs 294 L.kg⁻¹).

Tabla 4. Producción del cultivo (kg.ha⁻¹) en condiciones de secano, en riego con fertilidad edáfica al 80% y riego y fertilidad edáfica óptimas

Table 4. Yields (kg.ha⁻¹) under different conditions: rainfed farming; irrigation and 80% soil fertility; and optimum irrigation and soil fertility.

Estaciones	Secano (kg.ha ⁻¹)	Riego (kg.ha ⁻¹)	Riego Óptimo (kg.ha ⁻¹)	Incremento riego respecto a secano (%)	Incremento riego óptimo respecto a secano (%)	Incremento riego óptimo respecto a riego (%)
Ceres-aero	6651	9762	12088	47	82	24
Laboulaye	7146	9808	12043	37	69	23
Las Lomitas	7368	9837	12346	34	68	26
Paraná-aero	7343	9816	12384	34	69	26
Pilar-observatorio	6315	9758	11996	55	90	23
Reconquista-aero	6702	9789	12114	46	81	24
P.R. Sáenz Peña	7038	9800	12070	39	71	23
Formosa-aero	7332	9836	12387	34	69	26
Posadas	7267	9818	12325	35	70	26
Montecaseros	7333	9834	12390	34	69	26
Promedio	7050	9806	12214	39	73	25

Si se comparan los valores de huella hídrica del maíz estimados en este trabajo con los obtenidos en otras regiones maiceras del mundo (17) se tiene que: en Chile presenta valores promedio de huella hídrica azul de 400 L.kg⁻¹ y de huella hídrica verde de 56 L.kg⁻¹ (maíz de grano).

Se observa aquí que, a diferencia de lo que sucede en Argentina, la huella azul (88%) es más significativa que la verde (12%) debido a que en el vecino país la producción se sostiene fundamentalmente con riego.

Por su parte, Sun, S. K. *et al.* (2013), en Beijing, China (período 1978-2008), utilizando el modelo CROPWAT 8.0 (22), obtuvieron una huella hídrica media de 1.031 Lkg⁻¹ (56% correspondiente a huella hídrica verde, 25% a huella hídrica azul y 19% a huella hídrica gris). El valor de la huella hídrica verde resulta similar al estimado en este estudio en condiciones de riego y el de huella hídrica azul, superior al obtenido en Argentina (45 Lkg⁻¹).

Dabrowski J. M. *et al.* (2009), encontraron -para maíz en Sudáfrica, el mayor productor de la región-una huella hídrica verde de 868 Lkg⁻¹ y una huella hídrica azul de 117 Lkg⁻¹.

Según Chapagain y Hoekstra (2004), la producción de una tonelada de maíz en Sudáfrica requiere aproximadamente 1.609 m³ de agua.

En Dabrowski *et al.* (2009), se resalta la importancia y el cuidado que se debe tener en el uso de valores de contenido de agua virtuales a gran escala.

En los resultados del presente trabajo se observó que, al mejorar las condiciones del cultivo en lo referente a la disponibilidad de agua y fertilidad edáfica, se redujo la huella hídrica obtenida como sumatoria de las huellas verde y azul. Esto se debe a que la huella hídrica es el cociente entre la cantidad de agua consumida y la producción obtenida.

La mayor disponibilidad de agua junto con incrementos de fertilidad, determinaron un aumento importante de la producción que se tradujo en una disminución de la huella hídrica frente a las condiciones de secano. Este comportamiento se observó también por Mekonnen y Hoekstra (2010), donde para la mayoría de los cultivos, la huella hídrica promedio mundial (azul más verde) por tonelada de cosecha fue menor para los cultivos de regadío que para los cultivos de secano. Esto se explica debido a que los rendimientos son más altos en condiciones de riego (hay más agua disponible para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos y la evapotranspiración real se aproxima a la evapotranspiración potencial). En condiciones de secano, la evapotranspiración real es menor que la potencial.

Puede decirse que un manejo adecuado del cultivo (estrategias acertadas de riego y fertilización, entre otros) genera una menor huella hídrica, mejorando el uso del recurso agua. En ese sentido, Morábito *et al.* (2015), resaltan la importancia de contar con servicios de monitoreo y gestión de riego, como herramienta de apoyo a la toma de decisiones, donde los criterios de cuándo regar y cuánta agua aplicar, basándose en parámetros agronómicos del cultivo y características del suelo y clima se combinan con un modelo matemático que permita determinar la ETo.

Al analizar la distribución espacial de la huella hídrica se observó hacia el noroeste de la zona de estudio, un incremento de la huella hídrica verde en condiciones de secano. Esto es debido a que los rendimientos están sujetos a las precipitaciones, por ende, al disminuir la lluvia, en ese sentido disminuye también la producción y por lo tanto la huella hídrica resulta mayor.

Con respecto a la huella hídrica (verde más azul), en ambas situaciones de riego el incremento de la misma hacia el norte podría deberse a un aumento de la evapotranspiración. Asimismo, se estima que la uniformidad de valores obtenidos en sentido este-oeste es una consecuencia del riego (disminuye variabilidad, uniformiza la producción).

Al desglosar la huella hídrica en sus componentes verde y azul se observó que -en condiciones de riego- la mayor proporción está dada por la huella hídrica verde (alrededor del 92% para las estaciones analizadas), esto corresponde a un valor medio de huella hídrica verde de 557 L.kg⁻¹. Esto coincide con lo estimado por Aldaya (2007), trabajo donde se afirma que cerca del 90% del agua consumida en la producción de maíz en Argentina es agua verde y se estima un contenido en agua virtual de 595 L.kg⁻¹. Esta estimación es contrastada con la producción de maíz en España donde el contenido de agua virtual fue de 727 L.kg⁻¹ para el año 2001, siendo prácticamente el 90% del agua consumida, agua azul.

Las cifras reflejan una mayor eficiencia en el uso del agua para producir maíz en Argentina, además de consumir principalmente agua verde (19).

El agua verde tiene -en general- un costo de oportunidad menor que el agua azul (23), se debe a su alta imprevisibilidad y a la menor factibilidad de usos alternativos, por lo tanto sería deseable incentivar su utilización "in situ" mediante labores culturales apropiadas, para maximizar su aprovechamiento: prácticas como el barbecho y la siembra directa, así como siembras transversales a la máxima pendiente que reducen el escurrimiento superficial.

Fernandez (2014) estimó un valor de huella hídrica verde en secano en dos sitios de la provincia de Buenos Aires

(Pergamino y Quequén) de 631 L.kg⁻¹, por debajo de lo estimado para secano, en el presente trabajo (803 L.kg⁻¹ huella hídrica verde promedio). Esto podría deberse a los altos rendimientos de maíz obtenidos en estos sitios.

En Osorio Ulloa (2013) se menciona que -según estimaciones de la Water Footprint- Argentina, junto con China y Brasil, presentan las huellas hídricas totales más altas en comparación con los valores obtenidos en los principales países productores de maíz, influenciadas principalmente por los valores de huella hídrica verde.

Los mapas que se presentan en este trabajo indican que en los sectores de mayores lluvias se presentan valores más altos de huella hídrica verde y más bajos de huella hídrica azul, ya que la mayor parte de las necesidades del cultivo son cubiertas por las precipitaciones.

Comparando los resultados de huella hídrica verde en secano y fertilidad edáfica al 60% obtenidos en este trabajo (figura 4, pág. 175) con los valores de referencia estimados por Mekonnen y Hoekstra (2010), para las distintas provincias argentinas, se observan diferencias que van de 380 a 70 L.kg⁻¹, siendo menores los valores estimados en este trabajo. Esto puede deberse a que los autores mencionados utilizaron el modelo CROPWAT 8.0. (22) en lugar de AquaCrop (8).

Podría pensarse que este último arroja resultados más confiables, producto de la simulación precisa de la relación agua-suelo-planta-atmósfera, obteniendo valores de huella hídrica más cercanos a la realidad.

Las diferencias podrían deberse también a las fechas de siembra, las duraciones de las etapas del ciclo y demás parámetros de cultivo considerados.

Mekonnen y Hoekstra (2010), indican que las diferencias entre resultados obtenidos con distintos programas pueden deberse a una variedad de causas, incluyendo el tipo de modelo, la resolución espacial, el período considerado y datos respecto de los cultivos y áreas de riego (período de crecimiento, parámetros de cultivo, suelo y clima).

Fernandez (2014), indica que debe tenerse en cuenta la complejidad y el mecanismo de los modelos a la hora de comparar resultados ya que el grado de precisión depende de aquellos.

Mekonnen y Hoekstra (2010), señalan que aunque existen grandes diferencias en los modelos aplicados y supuestos, todos están de acuerdo sobre el rol dominante del agua verde en la producción global de cultivos.

Respecto de la huella hídrica gris, Mekonnen y Hoekstra (2010), mencionan que el maíz -junto con el trigo y el arroz- presentan valores elevados que en su conjunto representan alrededor del 56% de la huella hídrica gris a nivel global.

Por lo tanto, sería importante estimar la huella hídrica gris en Argentina, ya que en el cultivo de maíz se aplican fertilizantes nitrogenados que -si superan las necesidades del cultivo- se pierden por escorrentía y/o lixiviación produciendo impactos negativos en el ecosistema.

En Osorio Ulloa (2013) se encontró que la huella hídrica gris es uno de los factores de mayor incidencia en la huella hídrica total del cultivo.

Los valores de producción en secano simulados en este trabajo se compararon con los obtenidos por: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (24), AACREA para Argentina (2001/12) (3) y Agropost para Argentina 2010 (9) para la zona de estudio (figura 5, pág. 175).

De la comparación surge que los valores simulados se aproximan a los valores de INTA, superándolos -en promedio- en

un 7-8%. Esta diferencia podría deberse a que el modelo no incluye la afectación de la producción por otras causas, como problemas de plagas y enfermedades locales -puede mencionarse el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), la plaga más importante del maíz en Argentina- (4) y las reducciones de rendimientos generados por ineficiencias de los sistemas de cosecha.

CONCLUSIONES

Siendo Argentina uno de los principales países exportadores de maíz es importante contar con estimaciones de huella hídrica, una herramienta útil para conocer cuánta agua se exporta de forma indirecta como también para estimar huellas hídricas de otros productos que lo incluyen en su proceso productivo.

No debe olvidarse que la huella hídrica es un indicador complementario para evaluar la sustentabilidad en el uso de recursos naturales y por lo tanto debe analizarse e interpretarse de forma más integral.

Es necesario además avanzar en la valoración de los impactos de la huella hídrica, considerando la utilización (racional e irracional) de agua para riego en conjunto con el uso de fertilizantes.

Utilizar esta información de manera adecuada puede ayudar a la toma de conciencia de parte del productor, mejorar la toma de decisiones de los administradores del recurso y a elaborar políticas adecuadas para el uso cada vez más sostenible del agua.

La huella hídrica verde en secano alcanza -para el área de estudio- un valor medio de 803 L.kg⁻¹, con valores extremos de 875 y 733 L.kg⁻¹ y la huella hídrica (verde más azul) bajo riego es de 602 L.kg⁻¹ mientras que para la situación de riego y fertilidad edáfica óptimos (potencialidad actual) de 488 L.kg⁻¹.

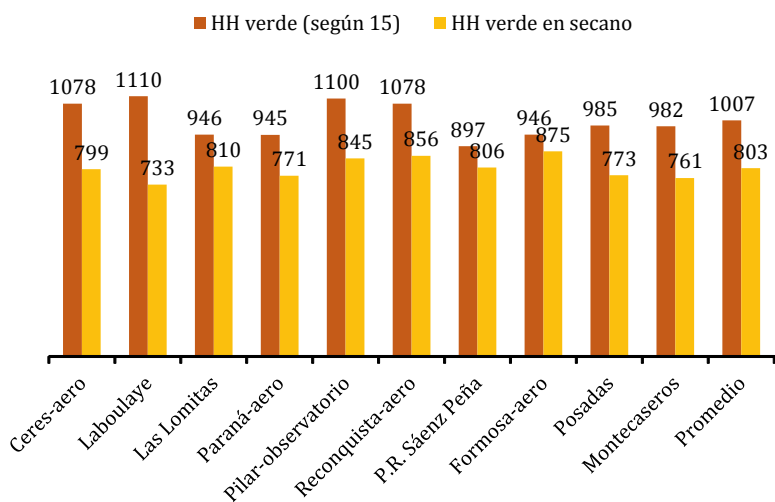


Figura 4. Comparación de los resultados obtenidos con los datos de huella hídrica verde y azul estimados por Mekonnen & Hoekstra (2010).

Figure 4. Comparison of the results obtained with the green and blue water footprint data estimated by Mekonnen & Hoekstra (2010).

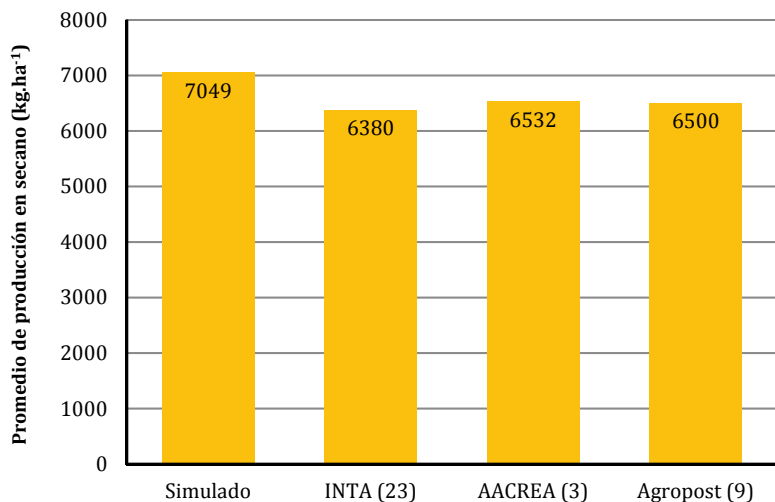


Figura 5. Comparación de la producción media de maíz simulada para el área de estudio y condiciones de seco con los valores de las referencias (3, 9 y 23).

Figure 5. Comparison of average corn yield simulated under rainfed conditions in the study area with values published by the INTA (3, 9 and 23).

El riego reduce la huella hídrica y, a su vez, plantea un valor potencial objetivo que el productor podría alcanzar si realizase un adecuado manejo del agua y de la fertilización.

Espacialmente la huella hídrica verde del maíz en secano aumenta hacia el noroeste y la huella (verde más azul) bajo riego se incrementa esencialmente hacia el norte del área de estudio.

Por su parte, la huella hídrica verde bajo riego se incrementa hacia el noreste y en condiciones de riego óptimo lo hace hacia el este.

La huella hídrica azul -para ambas situaciones de riego- se hace más relevante hacia el oeste debido a la menor ocurrencia de precipitaciones, lo que implica una mayor demanda de agua de riego.

Por último, los resultados permiten esperar que láminas de riego promedio de 44 mm (con un máximo de 114 mm) generen incrementos productivos medios -respecto de secano- del orden del 39% (con un máximo de 55% y un mínimo de 34%) y láminas medias de 106 mm (máximo de 205 y mínimo de 53 mm), sumadas a niveles adecuados de fertilidad, permitirían obtener un incremento medio de producción del 73% respecto de secano (con un máximo de 90% y un mínimo de 68%). Esta información permite al productor valorar convenientemente las prácticas de riego y el uso eficiente de fertilizantes en el proceso productivo y concientiza a los administradores del recurso hídrico sobre la necesidad de diseñar políticas adecuadas para el uso sostenible del agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aldaya, M. M. 2007. How strategically important is green water in international crop trade. Dissertation for M.Sc. in Environmental Policy and Regulation. London School of Economics.
2. Aldaya, M. M.; Niemeier, I.; Zarate E. 2011. Agua y globalización: retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*. 230:61-83.
3. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola - AACREA, 2014. Maíz: técnicas probadas para una producción rentable.
4. Ayala, O. R.; Navarro, F.; Virla, E. G. 2013. Evaluation of the attack rates and level of damages by the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), affecting corn-crops in the northeast of Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 45(2): 1-12.
5. Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y. 2004. Water Footprints of Nations. Volume 2: Appendices. Value of Water Research Report Series N° 16, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.
6. Cortés Bello, C. A. 2013. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia.
7. Dabrowski J. M.; Masekoameng, E.; Ashton P. J. 2009. Analysis of virtual water flows associated with the trade of maize in the SADC region: importance of scale. *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 13: 1967-1977.
8. Dirk, R.; Steduto, P.; Hsiao, T.; Fereres, E. 2012. AquaCrop. FAO. Rome, Italy.
9. Donadio, P. 2014. Manejo eficiente de maíces de alto potencial. *Agropost. Manejo agropecuario de exportación. Parte II*. 133 (16-18).
10. Fereres, E.; Orgaz, F.; Gonzalez-Dugo, V. 2011. Reflections on food security under water scarcity. *J. Exp. Bot.* 62: 4079-4086.

11. Fernandez, P. 2014. Water consumptions in different crop sequences in the pampean region to analyses the possibilities to integrate more maize in crop rotation to produce biofuels. Facultad de Agronomía. UBA, Buenos Aires, Argentina.
12. Flores-Gallardo, H.; Ojeda-Bustamante, W; Flores-Magdaleno, H.; Sifuentes-Ibarra, H.; Mejía-Sáenz, E. 2013. Simulación del rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en el norte de Sinaloa usando el modelo AquaCrop. *Agrociencia*. 47: 347-359.
13. Hoekstra, A. Y; Chapagain, A. J.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M. 2009. Water Footprint Manual. State of the Art 2009. Water Footprint Report. Water Footprint Network.
14. Hoekstra, A. Y; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M. 2010. Manual de Evaluación de la huella hídrica. Definiendo una norma global.
15. Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
16. Morábito, J.; Salatino, S.; Hernández, R.; Schilardi, C.; Álvarez, A.; Rodríguez Palmieri, P. 2015. Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las provincias del centro-noreste de Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 109-125.
17. Osorio Ulloa, A. 2013. Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. Serie Actas N°50. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi. Chile.
18. Raes, D.; Et Al. 2009. AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Journal of Agronomy*. 438-447.
19. Rodríguez Casado, R.; Garrido, A.; Llamas M. R.; Varela-Ortega, C. 2008. La huella hidrológica de la agricultura española. Número 2. *Papeles de Agua Virtual*. Ed. Fundación Marcelino Botín.
20. San Luis Agua S. E; Ministerio del Campo, Gobierno de la Provincia de San Luis. 2014. Cálculo y análisis de la huella hídrica de la Provincia de San Luis. Sectores agrícola y pecuario.
21. Servicio Meteorológico Nacional. 2012. Estadística climatológica. Buenos Aires. Argentina.
22. Smith, M. 1999. Cropwat Windows version 8.0. FAO. Italia.
23. Sun, S. K.; Wu, P. T.; Wang, Y. B.; Zhao, X. N. 2013. Temporal variability of water footprint for maize production: the case of Beijing from 1978 to 2008. *Water Resource Manage*. 27: 2447-2463.
24. Zunino, F. M. 2014. Rendimientos promedios de maíz en secano en provincias maiceras de Argentina, validados por productores e INTA. Consulta personal, florzunino@gmail.com

Evaluación de sustentabilidad de un modelo extensivo de cría bovina en Mendoza, Argentina

Sustainability assessment of an extensive cow-calf model in Mendoza, Argentina

Sebastian Otta ¹, Julio Quiroz ¹, Emilio Juaneda ¹, Juan Salva ¹, Martín Viani ²,
Maria Flavia Filippini ²

Originales: *Recepción:* 15/03/2015 - *Aceptación:* 18/11/2015

RESUMEN

Se evaluó la sustentabilidad de un modelo extensivo de cría bovina en General Alvear, Mendoza. Se utilizó un método multicriterio, mediante la construcción de indicadores de sustentabilidad basados en la información suministrada por visitas a campo y entrevistas realizadas a informantes clave. Para tal fin, se consideraron características ecológicas, económicas y sociales. Los principales puntos críticos observados se encontraron en la dimensión social, debido principalmente a limitaciones en el acceso a servicios públicos, escasa capacitación y bajo nivel de asociatividad. Desde el punto de vista económico, si bien el nivel de ganancias resultó aceptable, el riesgo económico se ubicó en el valor umbral por las escasas vías de comercialización, la elevada dependencia de insumos externos y una baja eficiencia productiva. En cuanto a la dimensión ecológica, todos los indicadores se encontraron por encima del valor umbral. Sobre la base de los resultados obtenidos, se proponen alternativas de manejo que contribuyan a la mejora de las condiciones sociales, la estabilidad y conservación de los pastizales y los logros económicos a largo plazo. A su vez, los resultados confirman la necesidad de evaluar la sustentabilidad de los sistemas de cría mediante indicadores acordes con las condiciones locales.

Palabras clave

análisis multicriterio • indicadores de sustentabilidad • ganadería extensiva • zonas áridas

-
- 1 Alumnos de la Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo. Alnte. Brown 500. M5528AHB. Luján de Cuyo, Mendoza. Argentina. mviani@fca.uncu.edu.ar
 - 2 Cátedra de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo.

ABSTRACT

The sustainability of an extensive cow-calf model in General Alvear, Mendoza, was assessed. A multi-criteria method was used, using indicators based on information supplied by field visits and interviews with key actors. For this purpose, ecological, economic and social characteristics were considered. The main critical points were found in the social sphere, due to limitations on the access to public services, poor training and associativity. Regarding the economic sphere, profitability was acceptable; however, the economic risk was at the sustainability threshold due to the lack of marketing channels, high dependence on external inputs and low production efficiency. Concerning the ecological sphere, all indicators were above the sustainability threshold. Based on the research outcomes, management alternatives are proposed in order to contribute to the improvement of social conditions, range preservation and long-term economic results. In addition, the results confirm the need of assessing the sustainability of extensive cow-calf systems through appropriate indicators according to the local conditions.

Keywords

multi-criteria analysis • sustainability indicators • extensive ranching • drylands

INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Mendoza, los planteos extensivos de cría bovina en monte y pastizales naturales son los sistemas de producción ganaderos predominantes.

Las tierras de pastoreo de zonas semiáridas son frágiles. El manejo irracional de los rodeos puede generar procesos de erosión acelerada del suelo y, consecuentemente, una disminución de la receptividad ganadera. La carga animal constituye el principal factor de manejo que influye sobre el rendimiento y los resultados económicos. Si estas superan la receptividad del campo, finalmente, la sequía y el deterioro del suelo y la vegetación hacen que el pastoreo con cargas altas sea ecológicamente insustentable.

Los modelos extensivos de cría bovina predominantes en General Alvear son un negocio riesgoso, dado que ofrecen beneficios medios altos

(alta productividad) pero gran variación interanual en los ingresos (baja estabilidad) (11).

Las altas cargas aumentan el riesgo económico y disminuyen los retornos a largo plazo, comparadas con aquellas moderadas, por lo que constituyen un planteo erróneo si el objetivo es la optimización de beneficios a largo plazo (11).

Este escenario, asociado con una visión de producción a corto plazo, sin planificación y susceptible a la degradación, conllevan un alto riesgo de ser una actividad productiva insustentable desde un enfoque integral.

Se entiende por desarrollo sustentable: "aquel que busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para alcanzar sus propias necesidades" (23).

Si bien este concepto es universalmente aceptado y legitimado, su significado permite que sea abordado desde distintos enfoques y acciones tendientes a su logro.

El presente estudio adopta el enfoque de sustentabilidad fuerte, considerando al capital natural como proveedor de funciones que no pueden ser sustituidas por capital hecho por el hombre (5). De esta forma se apunta a mantener la estabilidad ecológica, la base de recursos y maximizar la eficiencia productiva del campo, al mismo tiempo que se mejoran las condiciones de vida de las personas involucradas, manteniendo así un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población.

Dentro de las diferentes metodologías para la evaluación de sustentabilidad se encuentran los Marcos de Evaluación. Estos constituyen propuestas metodológicas flexibles que permiten guiar el proceso de evaluación mediante diferentes etapas o pasos. Comúnmente presentan una estructura jerárquica, partiendo de atributos u objetivos generales que son aplicables en diferentes situaciones y sistemas de manejo, y que sirven de guía para derivar criterios e indicadores más específicos.

El uso de indicadores permite suministrar información útil a tomadores de decisión del sector público y privado, acerca de la situación actual o la evolución del estado de los sistemas productivos. A su vez, sirven para promover prácticas sustentables que permitan la subsistencia en el tiempo de los sistemas productivos (1).

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza la evaluación de sustentabilidad del modelo mediante la metodología multicriterio propuesta por Sarandón y Flores (2009), con el fin de detectar los puntos críticos presentes y proponer alternativas de manejo basadas en estos. Para tal fin, se efectuó un estudio de caso abordando los aspectos ecológicos, económicos y sociales más representativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología multicriterio adoptada consiste en una serie de pasos que conducen a la obtención de un conjunto de indicadores adecuados para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas (figura 1, pág. 182).

Se pretende que la metodología de evaluación sea sencilla, de bajo costo y que permita evaluar aquellos aspectos que comprometen el logro de la sustentabilidad de los sistemas agrícola-ganaderos.

Se analiza, como estudio de caso representativo, un modelo de cría bovina ubicado a 40 km al noreste de la ciudad de General Alvear, en el departamento homónimo, Provincia de Mendoza (34°46'06" S; 67°29'18" O), figura 2 (pág. 182).

El clima de la zona es semiárido con precipitaciones medias anuales de 329 mm, de las cuales el 80% ocurre entre octubre y marzo.

En años húmedos alcanza los 400 mm y en años secos apenas supera los 200 mm. La velocidad del viento es de 11 km.h⁻¹ en promedio y la frecuencia media anual de días de cielo claro con heliofanía es de 166 días.

La temperatura media anual es de 17°C. La vegetación característica es el matorral xerofítico abierto perteneciente a la Provincia Fitogeográfica del Monte. Corresponde a una estepa arbustiva biestratificada (20).

El nivel de análisis es predial, enfocándose en los componentes y actores directamente relacionados con la unidad productiva.

El campo ganadero tiene una extensión de 12.000 ha en total, divididas en 6 cuadros de 2.000 ha cada uno. Entre la infraestructura con la que cuenta se puede mencionar: perímetro alambrado en toda la propiedad, división de los cuadros con tranqueras, corrales de aparte y de dos a tres aguadas por cuadro alimentadas por molinos de viento, picadas de acceso a las aguadas y dos viviendas.

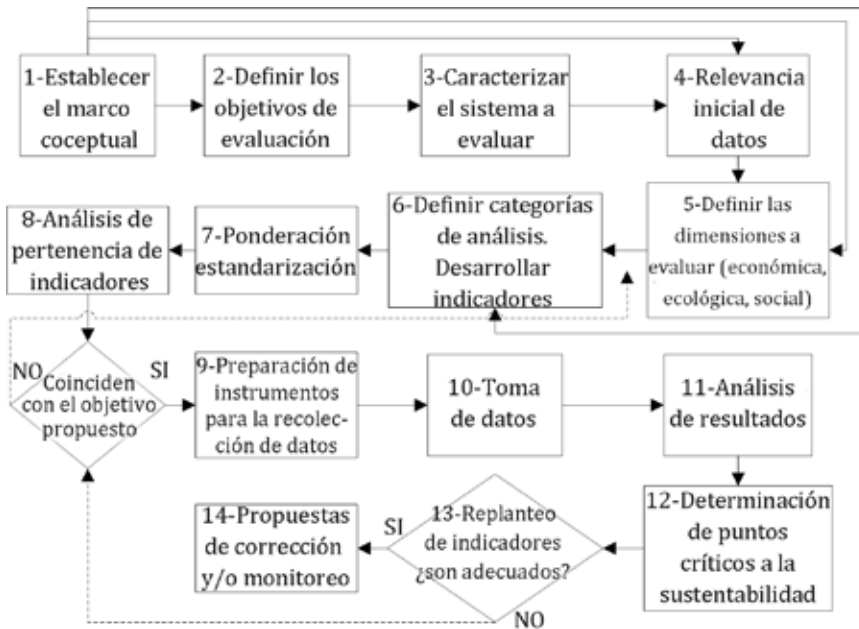


Figura 1. Pasos para la construcción de indicadores de sustentabilidad (18).

Figure 1. Steps for the construction of sustainability indicators (18).

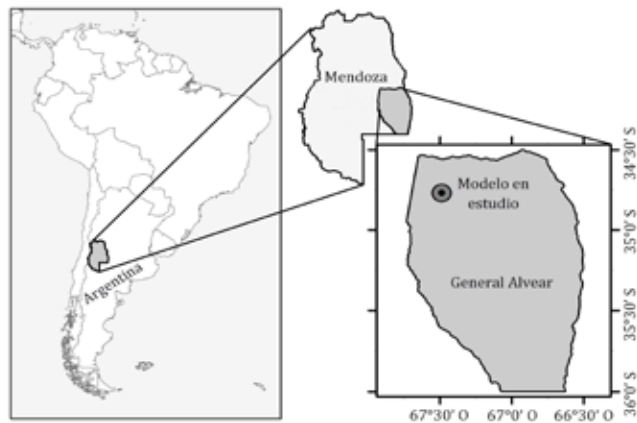


Figura 2. Ubicación relativa del modelo en estudio.

Figure 2. Relative location of model under study.

El rodeo de cría está compuesto por 650 vientres a servicio y 33 toros, todos de raza Aberdeen Angus. El manejo del mismo se lleva a cabo mediante pastoreo rotativo.

Teniendo en cuenta la multidimensionalidad y el enfoque de sustentabilidad adoptado, así como la escala predial del mismo, se adoptó tres dimensiones para el análisis: ecológica, económica y social; para cada una de estas se definieron diferentes niveles de evaluación. Estos niveles han sido denominados, de lo general a lo particular, categorías de análisis, descriptores e indicadores (6, 21).

Si se considera los esfuerzos recientes, los cuales demuestran que el uso de indicadores es apropiado para evaluar la sustentabilidad en sistemas pecuarios (10, 11) se han propuesto indicadores acordes al modelo ganadero analizado que permitan detectar la tendencia del sistema productivo en términos de sustentabilidad.

Dichos indicadores fueron definidos de forma tal que permitan predecir tendencias a futuro, incorporándose en ellos el factor temporal y enfocándose en los procesos que tienen afectación sobre las características consideradas como deseables o necesarias, para el logro de la sustentabilidad del modelo ganadero. En algunos aspectos, donde esto no fue posible o se consideró más conveniente, se tuvo en cuenta variables de manejo relacionadas con el funcionamiento del sistema. En todos los casos se buscó que los indicadores definidos sean consistentes y permitan, a partir de la identificación de los puntos críticos de sustentabilidad, la toma de decisiones orientadas a la mejora del sistema.

Una vez definido el conjunto de indicadores, los mismos fueron estandarizados y ponderados con el fin de unificar las diferentes unidades de medición utilizadas y determinar la importancia

relativa de cada uno de ellos para la sustentabilidad. Para esto se definió escalas de 0 (menos sustentable) a 4 (más sustentable), según la metodología utilizada por Sarandón *et al.* (2006) y Sarandón y Flores (2009).

Independientemente de su unidad original, todos los valores se transformaron o adecuaron a esta escala.

La estandarización se realizó teniendo en cuenta el carácter local de los indicadores que, si bien contemplan el criterio universal de la sustentabilidad, son formulados específicamente para una zona y actividad determinada. Por lo tanto, los valores de cada categoría (0, 1, 2, 3 y 4), fueron establecidos sobre la base de los datos promedios de los sistemas productivos de la zona.

Esta definición de categorías se realizó mediante información proporcionada por recopilación bibliográfica, visitas a campo y entrevistas a los distintos actores como el productor, peones y funcionarios de la Dirección de Ganadería de General Alvear, para obtener datos técnicos y socioeconómicos.

De acuerdo con los estudios realizados, la información recabada y la escala de ponderación elegida para el trabajo, se toma como umbral el valor 2. Por debajo de dicho valor, el indicador demostraría una limitante para lograr la sustentabilidad del sistema.

RESULTADOS

La aplicación del marco conceptual y la metodología para la construcción de indicadores permitió obtener una serie de indicadores estandarizados y ponderados para las tres dimensiones analizadas: ecológica, económica y social (tabla 1, pág. 184).

Tabla 1. Categoría de análisis , descriptores e indicadores.**Table 1.** Analysis categories, descriptors and indicators.

Dimensión	Categoría de análisis	Descriptor	Indicador
Ecológica	Suelo	Erosión	Pérdida de suelo
	Ganado	Sanidad	Estado sanitario
	Vegetación	Diversidad	Proporción de campo natural
		Cobertura forrajera	Oferta forrajera
Económica	Retorno	Rentabilidad	Relación beneficio/costo
		Estabilidad económica	Riesgo económico
	Producción	Eficiencia	Eficiencia reproductiva
			Eficiencia productiva
Social	Mano de obra	Estado	Calidad de vida
			Empleo
			Capacitación y formación
	Participación	Integración	Asociación con productores
Productor	Aceptación	Grado de satisfacción	

Dimensión ecológica

Un sistema será ecológicamente sustentable si conserva o mejora la base de los recursos productivos y si evita o disminuye el impacto sobre los recursos extraprediales. Se ha considerado la conservación de los recursos propios y el impacto ambiental externo.

Pérdida de suelo

Un sistema es sustentable si logra evitar o minimizar las pérdidas de suelo. Este indicador muestra la pérdida anual de suelos en toneladas $ha^{-1} año^{-1}$. Se calcula a partir de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), que tiene en cuenta el tipo de suelo, topografía, clima, cobertura y prácticas de manejo.

- (4): menos de 10
- (3): entre 10 y 35
- (2): entre 35 y 70
- (1): entre 70 y 110
- (0): mayor a 110

Control sanitario

En un sistema de cría, es primordial contar con buenas condiciones sanitarias y bienestar del ganado para minimizar las pérdidas productivas. Este indicador mide la presencia y tipo de plan sanitario, y si el productor cuenta con asesoramiento veterinario.

- (4): con plan sanitario completo, con asesoramiento veterinario
- (3): con plan sanitario básico, con asesoramiento veterinario
- (2): con plan sanitario básico, sin asesoramiento veterinario
- (1): con plan sanitario deficiente, sin asesoramiento veterinario
- (0): sin plan sanitario

Proporción de campo natural

Si se mantiene una alta proporción de campo natural con estructura arbustiva se infiere que proporciona una mejor conservación de la diversidad biológica de la zona.

Se mide a partir del porcentaje de campo natural que mantiene la estructura arbustiva, es decir, que no ha sido desmontado.

- (4): mayor a 90%
- (3): entre 70 y 90%
- (2): entre 50 y 70%
- (1): entre 30 y 50%
- (0): menor a 30%

Oferta forrajera

A mayor oferta forrajera, la productividad del sistema mejora. Se calcula como raciones.ha⁻¹.año⁻¹ y su ponderación se realiza teniendo en cuenta la receptividad ganadera óptima definida para la zona (12) y comunicación personal con el productor.

- (4): mayor a 36,5
- (3): entre 18,25 y 36,5
- (2): entre 9 y 18,25
- (1): entre 4,5 y 9
- (0): menor a 4,5

Dimensión económica

Un sistema será económicamente sustentable si garantiza un beneficio que le permita mantenerse en el tiempo, mientras mantiene o mejora la eficiencia reproductiva y productiva y disminuye el riesgo económico en el tiempo.

Relación Beneficio/Costo

Un sistema es sustentable en la medida en que se obtengan beneficios suficientes para cubrir los costos de producción y para satisfacer necesidades del productor y su familia. Se utiliza la relación entre los ingresos y los costos directos por hectárea, considerando tanto los costos de producción como las amortizaciones del capital de inversión:

- (4): mayor a 2
- (3): entre 1,5 y 2
- (2): entre 1 y 1,5
- (1): igual a 1
- (0): menor a 1

Ración: Es la energía necesaria para cubrir un EV diario (EV: Equivalente Vaca). Un EV representa -en términos de energía- 18,5 Megacalorías de Energía Metabolizable. Para su estimación, se utilizó la fórmula propuesta por Ponssa *et al.* (2009), utilizando como base los datos brindados por Guevara *et al.* (2009) para la región del Monte Central:

$$\text{Raciones.ha}^{-1}.\text{día}^{-1} = \frac{\text{PPNA (kg MS / ha / día)} * \text{EUF} * 3,608 * \text{Dig}}{18,5 (\text{Mcal EM / EV})}$$

donde:

PPNA: Productividad Primaria Neta Aérea

MS: Materia Seca

EUF: Eficiencia de Utilización de Forraje

Dig: Digestibilidad

EM: Energía Metabolizable

EV: Equivalente Vaca

Equivalente Vaca: promedio anual de los requerimientos conjuntos, en condiciones de pastoreo, de una vaca de 400 kg de peso que gesta un ternero y lo cría hasta el destete a los 6 meses de edad con 160 kg de peso, incluyendo el forraje consumido por el ternero (4).

Riesgo económico

Un sistema es sustentable si minimiza el riesgo económico, asegurando la estabilidad en la producción y la comercialización de los productos a largo plazo, a través de un mayor número de canales de comercialización, tanto remates feria como venta directa.

Subindicadores*Vías de comercialización*

Se analiza el número y tipo de vías de comercialización.

- (4): más de 2 vías de comercialización (directa/s) y otras indirecta/s
- (3): 2 vías de comercialización (directa/s) y otra/s indirecta/s
- (2): 1 vía de comercialización (indirecta)
- (1): 1 vía de comercialización (directa)
- (0): sin vías de comercialización eventual

Dependencia de insumos externos

Un sistema con una alta dependencia de insumos externos es vulnerable, ya que requiere de ellos como factor de producción, a pesar del aumento de los costos de dichos insumos, con el fin de continuar la producción en el tiempo. Se mide como el porcentaje que representan (suplementos, medicamentos, combustibles, asesoramiento, herramientas, maquinarias, etc.) con respecto a los costos totales de producción.

- (4): menor a 10%
- (3): entre 10 y 30%
- (2): entre 30 y 50%
- (1): entre 50 y 80%
- (0): mayor a 80%

El indicador Riesgo Económico

$$(B2) = (B2.1+B2.2)/2$$

Eficiencia reproductiva

Un sistema ganadero de cría es más sustentable si tiene una alta eficiencia

reproductiva. Esto se traduce en un mayor porcentaje de preñez, es decir, la proporción de vientres preñados del total del rodeo general a servicio.

- (4): mayor a 85%
- (3): entre 70 y 85%
- (2): entre 60 y 70%
- (1): entre 50 y 60%
- (0): menor a 50%

Eficiencia productiva

Un sistema con alta eficiencia de producción permite una utilización óptima de los recursos, permitiendo perdurar en el tiempo sin degradar los mismos, alcanzando así un mayor grado de sustentabilidad.

Subindicadores*Proporción de campo efectivamente pastoreado*

Es el porcentaje del total del campo que realmente es aprovechado por el ganado.

Un aprovechamiento óptimo de todos los recursos forrajeros que brinda el campo aporta a la eficiencia productiva y a la sustentabilidad económica. Esto se mide a partir de la relación entre el área de influencia de las aguadas (aproximadamente una circunferencia de 2 km de radio desde la aguada) con respecto al área total del campo. Este valor está dado por la cantidad de aguadas en el campo y su distribución. Además, tiene asociado el concepto de disponibilidad de agua para el rodeo.

- (4): mayor a 80%
- (3): entre 70 y 80%
- (2): entre 50 y 70%
- (1): entre 30 y 50%
- (0): menor a 30%

Productividad

El sistema de cría de ganado tiene como objetivo final la producción de terneros.

A mayor cantidad de terneros obtenidos, la producción es más eficiente contribuyendo a la sustentabilidad económica. Se mide como el número de terneros.ha⁻¹.año⁻¹.

La ponderación permitió ajustar la producción a la receptividad ganadera media de la zona, de aproximadamente 16 ha.EV⁻¹ (10).

(4): mayor a 0,05

(3): entre 0,04 y 0,05

(2): entre 0,03 y 0,04

(1): entre 0,025 y 0,03

(0): menor a 0,025

Calidad de agua de bebida

Una adecuada calidad del agua de bebida para ganado mejora el bienestar animal y por ende la productividad del agroecosistema. Se consideró la conductividad eléctrica del agua de bebida, medida en dS.m⁻¹

(4): menor a 1,5 dS.m⁻¹. Excelente. Apta para todas clases de ganado

(3): entre 1,5 y 5,0 dS.m⁻¹. Muy satisfactoria Apta para todas las clases de ganado. Puede provocar diarreas temporales

(2): entre 5,0 y 8,0 dS.m⁻¹. Satisfactoria. Puede producir diarrea temporal o no ser aceptada por animales

(1): entre 8,0 y 11,0 dS.m⁻¹. De uso limitado. Apta con razonable seguridad para vacunos. Evitar animales preñados y en lactación

(0): mayor a 11,0 dS.m⁻¹. De uso muy limitado. Gran riesgo con vacas lactantes o preñadas. Evitar su uso, aunque ganado más viejo puede subsistir bajo ciertas condiciones

Eficiencia productiva = $(2*B4.1+3*B4.2+B4.3)/6$

Dimensión social

Un sistema será socialmente sustentable si garantiza una adecuada calidad de vida,

empleo y formación-capacitación. Del mismo modo, se consideró la asociación con otros productores y el grado de satisfacción del productor.

Calidad de vida

Un agroecosistema sustentable asegura una adecuada calidad de vida del peón rural, teniendo en cuenta vivienda, salud, educación, servicios, etc.

Subindicadores

Características de la vivienda

Se tiene en cuenta el tipo y estado de vivienda, presencia de pisos y número de personas por habitación.

(4): vivienda es de material, en buen estado, con pisos de cerámica, y con menos de 3 personas por habitación

(3): vivienda de material, en buen estado, con contrapiso, y con menos de 3 personas por habitación

(2): vivienda de material, en mal estado, con contrapiso y con menos de 3 personas por habitación

(1): vivienda de material, en mal estado, con pisos de tierra y con menos de 4 personas por habitación

(0): vivienda precaria, en mal estado, con pisos de tierra y con más de 3 personas por habitación

Servicios

Se tiene en cuenta el número de servicios que tiene la vivienda del peón (luz, gas y agua potable).

(4): presencia de 3 servicios y agua para aseo

(3): presencia de 2 servicios y agua para aseo

(2): presencia de 2 servicios

(1): presencia de 1 servicio

(0): ningún servicio

Servicios de salud

Contempla la distancia al centro de salud más cercano y si los operarios cuentan con cobertura de salud (obra social).

- (4): A menos de 5 km, con cobertura
 (3): entre 5 y 20 km, con cobertura
 (2): entre 20 y 50 km, con cobertura; o a menos de 5 km, sin cobertura
 (1): a más de 50 km, con cobertura; o entre 5 y 20 km, sin cobertura
 (0): a más de 20 km, sin cobertura

Acceso a la educación

Incluye la distancia desde la vivienda a la escuela, y el tipo de escuela (es albergue o no), infiriendo la accesibilidad a la educación de los hijos de los peones.

- (4): A menos de 5 km
 (3): entre 5 y 20 km, con albergue
 (2): entre 20 y 50 km, con albergue; o entre 5 y 20 km sin albergue
 (1): entre 20 y 50 km, sin albergue; o a más de 50 km, con albergue
 (0): a más de 50 km, sin albergue

Movilidad

Determina el tipo de movilidad con que cuenta los operarios.

- (4): Automotor, en buen estado
 (3): automotor, en mal estado
 (2): caballo
 (1): bicicleta
 (0): no tiene

Grado de satisfacción

Apreciación personal acerca de la motivación hacia el trabajo que realizan los peones.

- (4): muy satisfecho con su empleo. No cambiaría de trabajo aunque este le reporte mayores ingresos
 (3): satisfecho con el trabajo, aunque cree que podría estar mejor
 (2): no del todo satisfecho. Trabaja en el campo porque es lo único que sabe hacer;
 (1): poco satisfecho con su forma de vida. Preferiría realizar otra actividad
 (0): desilusionado con la vida que lleva, realiza la actividad por falta de alternativas

El indicador Calidad de Vida = $(C1.1+C1.2+ C1.3+ C1.4+ C1.5+ C1.6)/6$

Empleo

La calidad y estabilidad del empleo influyen en el manejo adecuado del agroecosistema. Se tiene en cuenta si el empleo es formal o informal, temporal o permanente, y la categoría de general o especializado (difieren en las responsabilidades y decisiones en la producción, y en el sueldo) (16).

- (4): formal, permanente, categoría especializado
 (3): formal, permanente, categoría general
 (2): informal, permanente
 (1): formal, temporal
 (0): informal, temporal

Formación y capacitación

Contempla los conocimientos empíricos de la actividad (por descender de familia ganadera o haber trabajado anteriormente en el rubro); educación primaria elemental completa o incompleta; capacitación en temas específicos por profesionales:

- (4): con capacitación, con conocimientos de campo, con educación primaria completa
 (3): sin capacitación, con conocimientos de campo, con educación primaria completa; o con capacitación, con conocimientos de campo, sin educación primaria completa
 (2): sin capacitación, con conocimientos de campo, sin educación primaria completa
 (1): sin capacitación, sin conocimientos de campo, con educación primaria completa
 (0): sin capacitación, sin conocimientos de campo, sin educación primaria completa

Asociación con productores

La asociación de productores mejora la capacidad de gestión del sistema y aumenta la capacidad de negociación. Hace referencia a la existencia de tipo de asociaciones u organizaciones sociales, que permitan y faciliten canales de

comercialización, insumos, maquinaria, etc. Tiene en cuenta la estructura organizacional que presentan, la formalidad y la cantidad de productores que participan.

(4): asociación formal

(3): asociación informal, permanente, organizada

(2): asociación informal eventual, más de 3 productores involucrados

(1): asociación informal, eventual, hasta 3 productores involucrados

(0): sin ningún tipo de asociación

Grado de satisfacción del productor

La satisfacción del productor está directamente relacionada con el grado de aceptación del sistema productivo. Hace referencia a la apreciación personal del productor:

(4): muy satisfecho. No haría otra actividad aunque esta le reporte más ganancias

(3): satisfecho, aunque cree que podría estar mejor

(2): no del todo satisfecho

(1): poco satisfecho

(0): desilusionado con su producción. Esperando que se presente alguna oportunidad para dejarla

En la tabla 2 (pág. 190), se presentan los indicadores seleccionados para evaluar la sustentabilidad del modelo y los valores obtenidos de la recolección y análisis de los datos.

En la figura 3 (pág. 191), se observa la representación gráfica de los valores obtenidos para cada uno de los indicadores en un diagrama tipo AMEBA.

Los resultados manifestados en el diagrama tipo AMEBA reflejan indicadores con valores cercanos o por debajo del umbral de sustentabilidad, no obstante se observa un buen desempeño de los indicadores ecológicos.

La dimensión identificada como más comprometida es la social y, en segundo lugar, aparece la económica.

En cuanto a los aspectos económicos, el valor de eficiencia productiva (2,2) se encuentra levemente por encima del valor umbral. Esto se debe principalmente a que la cantidad de terneros destetados anualmente por hectárea es de 0,031 (1 ternero cada 32,3 ha aproximadamente) y la proporción de campo efectivamente pastoreado es del 64%, determinada principalmente por la distribución de aguadas. La calidad del agua de bebida no resultó una limitante de la productividad.

En referencia a la eficiencia reproductiva (3,0) su valor se encuentra por encima del umbral de sustentabilidad, determinada por una tasa de preñez del 75%.

Si bien la relación beneficio/costo (4,0) es adecuada, de acuerdo con la escala seleccionada, el riesgo económico (2,0) se encuentra en el valor umbral de sustentabilidad. Esto último se debe a que el único producto de venta son los terneros y su principal vía de comercialización es el remate feria y, eventualmente, la venta directa, lo que implica una escasa estabilidad en el tiempo.

Además el sistema tiene una alta dependencia de los insumos externos ya que representan el 59% de los costos totales.

En cuanto a los aspectos sociales, el principal punto crítico resultó la asociación con otros productores (1,0), ya que esta es informal, eventual y con menos de tres personas involucradas. El grado de satisfacción del productor (2,0) con el desarrollo de la actividad es bajo.

La calidad de vida (2,2) se ubicó ligeramente sobre al umbral de sustentabilidad ya que los servicios a los que se accede son escasos (únicamente energía eléctrica con panel solar) y existen limitaciones de movilidad, considerando la gran distancia a escuelas y centros de salud.

Tabla 2. Indicadores y subindicadores para la evaluación de sustentabilidad de un modelo de cría bovina en General Alvear, Mendoza (Argentina).**Table 2.** Indicators and sub-indicators for the sustainability assessment of a cow-calf model in General Alvear, Mendoza (Argentina).

Dimensión	Indicador	Sub-indicador	Medición	Medida	Valor sub-indicador*	Valor indicador
Ecológica	Pérdida de suelo	-	Toneladas de suelo.ha ⁻¹ .año ⁻¹	33,3	-	3,0
	Control sanitario	-	Presencia y tipo de plan sanitario y asesoramiento	Plan básico c/as. vet.	-	3,0
	Proporción de campo natural	-	% de campo natural con estructura arbustiva	95%	-	4,0
	Oferta forrajera	-	Raciones.ha ⁻¹ .año ⁻¹	27	-	3,0
Económica	Relación Beneficio/Costo	-	Ingresos/Costos	3,1	-	4,0
	Riesgo económico	Vías de comercialización	Número y tipo de vías de comercialización	2	3 (1)	2,0
		Dependencia de insumos externos	Relación Costo de insumos externos/Costos Totales	59%	1 (1)	
	Eficiencia reproductiva	-	% de preñez	75%	-	3,0
	Eficiencia productiva	Proporción de campo efectivamente pastoreado	Relación Área de influencia de aguadas/Área total del campo	64%	2 (2)	2,2
			Productividad	Terneros.ha ⁻¹ .año ⁻¹	0,031	
Calidad de agua de bebida			dS.m ⁻¹	2,4	3 (1)	
Social	Calidad de vida	Características de la vivienda	Tipo y estado de vivienda, presencia de pisos y número de personas por habitación	Material, buen estado, contrapiso, menos 3 pers/habit.	3 (1)	2,2
		Servicios	Número de servicios que posee (luz, agua, gas, agua potable)	1 servicio	1 (1)	
		Servicios de salud	Distancia a centro de salud y cobertura de obra social	20-50 km, c/cob	2 (1)	
		Acceso a la educación	Distancia a escuela y presencia de albergue	20-50 km, s/alb	1 (1)	
		Movilidad	Tipo de movilidad	Auto, mal estado	3 (1)	
		Grado de satisfacción	Apreciación personal	Satisfecho	3 (1)	
	Empleo	-	Tipo de empleo	Formal, perm., gral.	-	3,0
	Capacitación y Formación	-	Nivel de capacitación, conocimientos de campo y educación primaria	S/cap., c/conoc., s/ed. prim.	-	2,0
	Asociación con productores	-	Tipo de asociación	Informal eventual, menos 3 prod.	-	1,0
	Grado de satisfacción productor	-	Apreciación personal	Poco satisfecho	-	2,0

*Valor Subindicador: entre paréntesis "()" se indica el grado ponderación por el cual se multiplica el valor del subindicador.

*Value of Sub-Indicator: The weighting factor by which the value of sub-indicator is multiplied is shown in brackets.

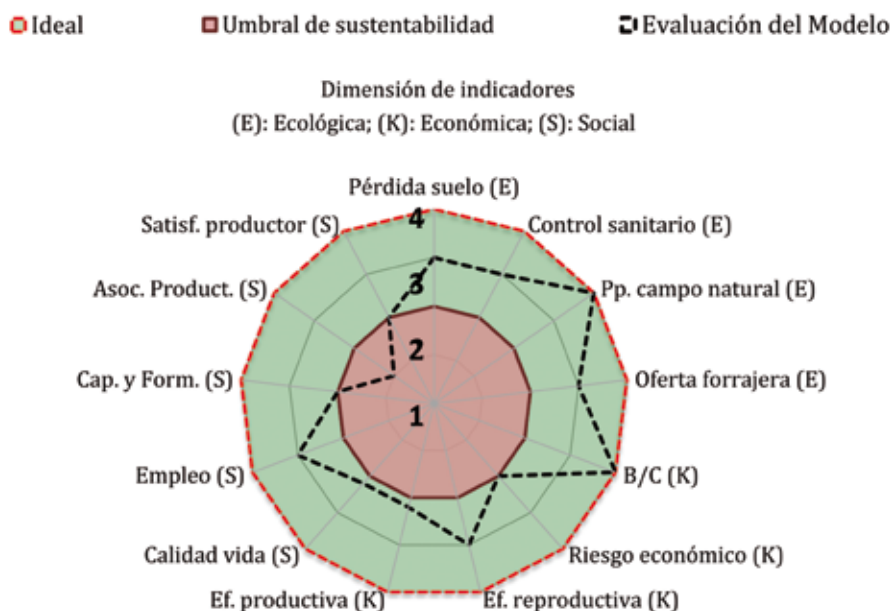


Figura 3. Sustentabilidad de un modelo de cría bovina en General Alvear, Mendoza (Argentina).

Figure 3. Sustainability of a cow-calf model in General Alvear, Mendoza (Argentina).

El grado de satisfacción de los operarios con la actividad que realizan es aceptable.

Puede agregarse que, aun siendo el empleo (3,0) de tipo formal y permanente, este es de categoría general y la capacitación y formación (2,0) de los operarios es baja.

Los indicadores de la dimensión ecológica analizados se encontraron por encima del umbral de sustentabilidad.

Para la oferta forrajera (3,0) y la proporción de campo natural (4,0) los valores obtenidos fueron adecuados, considerando un valor medio para todo el campo y que casi la totalidad de este conserva la estructura arbustiva natural.

Con respecto al control sanitario (3,0) del rodeo, su valor se encuentra por encima del umbral de sustentabilidad ya que cuenta con un plan sanitario básico y asesoramiento veterinario.

La pérdida de suelo (3,0) estimada para el campo no resultó ser significativa.

DISCUSIÓN

A partir de la evaluación multicriterio realizada se concluye que, en términos generales, no se reúnen las condiciones necesarias para considerar que se realiza un manejo sustentable del predio.

Se detectó algunos aspectos sociales y económicos que afectan, actual y/o potencialmente, a la sustentabilidad del modelo en estudio. Estos resultados contrastan con trabajos realizados en la región, los cuales identifican a las variables ecológicas como principales limitantes de la sustentabilidad de estos sistemas (11).

Dentro del criterio social se indagó en aspectos importantes como calidad de vida, formación-capacitación y nivel de asociación con otros productores, los cuales ponen de manifiesto el denominado capital social, que "pone en marcha" el capital natural.

El nivel de asociación resultó particularmente escaso siendo que la participación o pertenencia a redes y organizaciones sociales, tanto en lo que hace directamente al sistema de producción (grupos o asociaciones de productores, sociedades de fomento, etc.), como también las relaciones que se generan con otros grupos sociales (asociaciones civiles, entidades, etc.), mejoran la capacidad de gestión del sistema, contribuyendo a la mejora productiva (2, 3).

Sería importante considerar otras variables vinculadas con la capacidad de autogestión, tipo e intensidad de relaciones con la comunidad y las expectativas a futuro. Estos aspectos son de fundamental importancia porque se relacionan con el entorno social del productor y su inserción en la sociedad.

El buen desempeño de los indicadores ecológicos responde a que la actividad ganadera se realiza teniendo en cuenta las características ambientales y productivas del lugar (precipitaciones, oferta forrajera, requerimientos nutricionales del rodeo).

En términos de manejo, significa que el productor realiza un ajuste de la carga animal instantánea (número de animales por unidad de superficie en un momento

determinado) mediante pastoreo rotativo, de acuerdo con la oferta forrajera.

El manejo de la carga total e instantánea del campo será la herramienta fundamental para aprovechar adecuadamente los forrajes, optimizando su uso y manteniendo la sustentabilidad a lo largo de los años (20).

El pastoreo rotativo permite el descanso de los cuadros, tendiendo a favorecer procesos de recuperación del banco de semillas (20). A su vez, mejora considerablemente las condiciones del campo, traduciéndose, entre otros aspectos, en un aumento del número de especies forrajeras preferidas por el ganado (12).

Finalmente, la conservación de la estructura de la vegetación natural en la mayoría de la superficie del campo (95%) conlleva una serie de efectos positivos sobre el ambiente, que favorece el buen desempeño de los demás indicadores ecológicos.

La biomasa de árboles proporciona al suelo materia orgánica y nitrógeno, mediante la caída de ramas, hojas, frutos, estimulando la actividad microbiológica de este; se producen menores temperaturas máximas del suelo y del aire; se disminuye la velocidad de vientos, con el consecuente efecto sobre la humedad relativa ambiente y la disminución de la demanda atmosférica; disminuye el riesgo de erosión hídrica y eólica por fijación del suelo a través de sistemas radiculares sub-superficiales y profundos (7, 8).

Al considerar los indicadores de la dimensión económica, si bien la relación beneficio/costo es adecuada de acuerdo con la escala seleccionada, la eficiencia productiva y el riesgo económico se encuentran cercanos al valor umbral de sustentabilidad. Por lo tanto deben ser especialmente tenidos en cuenta para futuras propuestas de manejo, ya que ante pequeñas variaciones del sistema podrían caer por debajo del umbral definido.

En cuanto a la eficiencia reproductiva, la tasa de preñez (75%) se debe principalmente a la variabilidad intra e interanual en la oferta forrajera, sobre todo déficits nutricionales de los vientres en épocas importantes del ciclo como preparto (agosto a septiembre) y posparto (21).

A pesar que la productividad actual es baja, considerando la receptividad ganadera determinada por Guevara *et al.* (1995) para los campos de la zona (15 - 20 ha.EV⁻¹), es importante considerar la variabilidad de la oferta forrajera anteriormente nombrada, así como la gran variabilidad espacial de cada comunidad vegetal con el fin de evitar la degradación por cargas excesivas de ganado.

A partir del análisis realizado se plantean alternativas de manejo, orientadas hacia la sustentabilidad del modelo ganadero, buscando mantener la estabilidad ecológica, la base de recursos y maximizar la eficiencia productiva del campo, al mismo tiempo que pretenden mejorar las condiciones de vida de las personas involucradas.

En este sentido, se propone un plan de capacitación del personal en aspectos generales de gestión, manejo del rodeo, manejo nutricional y reproductivo, así como la participación en instancias de encuentro-intercambio de productores que propone INTA en la región (13).

Por otra parte, existe una serie de alternativas de manejo que permiten mejorar la eficiencia reproductiva y productiva, sin intervenir directamente sobre el monte y pastizales naturales, evitando así comprometer la sustentabilidad ecológica de dicho sistema. Estas pueden ser: suplementación alimenticia invernal, destete precoz, inseminación artificial, *creep feeding* y manejo de la carga animal (20).

Existe otra alternativa que, mediante intervención sobre el monte y pastizales naturales en sectores degradados o de menor productividad, busca generar sucesiones vegetales hacia estados más productivos desde el punto de vista forrajero. Una de ellas es la aplicación de rolo cortador selectivo, que busca reducir la cobertura de arbustos sin ponerlos en riesgo de mortandad y, a su vez, generar mejores condiciones de germinación y rebrote del estrato herbáceo. Esto permite lograr un aumento en la oferta forrajera en aquellas comunidades menos productivas, permitiendo mejorar la eficiencia de utilización del forraje disponible (17, 22).

La aplicación del rolado, además, repercute positivamente en otros aspectos del agroecosistema, como puede ser un mantenimiento de mayores valores de cobertura de broza y disminución de suelo desnudo (17).

En cuanto a los aspectos económicos de esta estrategia, la misma es favorable frente a la opción de compra de mayor superficie productiva. El rolado genera una habilitación de tierras improductivas a productivas, mientras que la última acrecienta necesidades de alambrados, personal, movilidad, etc. sin asegurar una mayor productividad (17).

CONCLUSIONES

El sistema ganadero en estudio, si bien exhibe indicadores ecológicos aceptables, no cuenta con una visión de largo plazo, presentando baja eficiencia productiva, alto riesgo económico, escasa capacitación y condiciones socio-económicas inadecuadas del personal, por lo que no puede considerarse sustentable desde una mirada integral del desarrollo rural.

El marco de evaluación utilizado constituye una herramienta adecuada para la evaluación de sustentabilidad de un modelo de cría bovina a escala predial. Dicha herramienta representa una metodología sencilla y flexible que permite realizar un análisis multidimensional bajo un enfoque de sustentabilidad fuerte, incorporando una visión temporal que posibilita identificar tendencias a futuro.

Los resultados obtenidos confirman la importancia del uso de indicadores acordes a la realidad local como instrumentos útiles para la evaluación y toma de decisiones, a fin de promover prácticas sustentables que permitan la subsistencia en el tiempo de los sistemas productivos.

Los indicadores definidos para la evaluación del sistema en estudio contemplan una amplia variedad de descriptores, por lo que son apropiados para mensurar los aspectos ecológicos, económicos y sociales.

A partir de los puntos críticos identificados y las alternativas de manejo planteadas, se desprende la importancia de realizar el seguimiento de la evolución del sistema. De esta forma, mediante el monitoreo en el tiempo de aquellos aspectos detectados como críticos, se permite la retroalimentación constante en el manejo de dicho sistema, bajo un esquema evaluación-acción-evaluación, orientado hacia la sustentabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abraham, L.; Alturria, L.; Fonzar, A.; Ceresa, A.; Arnés, E. 2014. Propuesta de indicadores de sustentabilidad para la producción de vid en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(1): 162-163.
2. Chiappe, M. 2002. Las dimensiones sociales de la Agroecología. En: Sarandón, S. J. (ed.). *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable.* Ediciones Científicas Americanas. 2. 83-98.
3. Chiappe, M.; Bacigalupe, G.; Dogliotti Moro, S. 2008. Indicadores sociales para la evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción familiares intensivos. En: Tolón Becerra, A. y Lastra Bravo, X. (Eds.). *Actas del II Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores.* Almería, España: Universidad de Almería/AECID. 173-88.
4. Coccimano, M.; Lange, A.; Menvielle, E. 1975. Estudio sobre equivalencias ganaderas. *Producción Animal.* Buenos Aires, Argentina. 4: 161-190.
5. Costanza, R.; Daly, H. E. 1992. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology.* 6: 37-46.
6. De Camino, R.; Müller, S. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos Naturales. Bases para establecer indicadores. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Serie de Documentos de Programas. 133 p.
7. Díaz, R. O. 2014. Utilización de pastizales naturales. Editorial Encuentro.
8. Di Ciocco, C. A.; Sandler, R. V.; Falco, L. B.; Coviella, C. E. 2014. Actividad microbiana de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza. Argentina.* 46(1): 73-85.
9. García Huber, S.; Guerrero, E. 2006. Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes. Parque urbano Monte Calvario, Tandil. Argentina. *Revista Norte Grande. Pontificia Universidad Católica de Chile.* 35: 45-58.
10. González Esquivel, C. 2008. Indicadores de sustentabilidad para sistemas pecuarios. Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias (CICA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). 2-3.

11. Guevara, J. C.; Estévez, O.; Torres E. 1995. Receptividad de las pasturas naturales de la llanura de Mendoza. *Multequina* N° 4. IADIZA. F.C.A. UNCuyo. Mendoza. Argentina. 29-35.
12. Guevara, J. C.; Grünwaldt, E.; Estevez, O.; Bisigato, A.; Blanco, L.; Biurrun, F.; Ferrando, C.; Chirino, C.; Morici, E.; Fernández, B.; Allegretti, L.; Passera, C. 2009. Range and Livestock production in the Monte Desert, Mendoza, Argentina. *Journal of Arid Environments*. 73: 228-237.
13. Informa INTA Rama Caída (2013) - Año III - N° 2- Estación Experimental Agropecuaria Rama Caída. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/boletin-informativo-diciembre-2013>.
14. Ponssa, E.; Machado, C. F. Mangudo, P.; Arroqui, M.; Ottonello, A. 2009. Desarrollo de un sistema de la dinámica de rodeo de cría bovina y de los recursos de alimentación para su aplicación a la planificación productiva y económica. I Congreso Argentino de Agroinformática. Mar del Plata. Agosto. 45-53.
15. Resolución N° 71/2008. Comisión Nacional de Trabajo Agrario, Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. Disponible en: <http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/145000-149999/148207/norma.htm>.
16. Rosales, I.; Mora, S. 2012. El rolado en Mendoza. Ed. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Mendoza. 42 p.
17. Sarandón, S.; Zuluaga, M.S.; Cieza, R.; Gómez, C.; Janjetic, L.; Negrete, E. 2006. Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología*. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 1: 21-22.
18. Sarandón, S.; Flores, C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología*. 4: 19-28.
19. Tacchini, F.; Van den Bosch, S. 2012. El Rodeo de cría. Especial Referencia a la ganadería de zona árida. Departamento de Producción Agropecuaria. F.C.A. UNCuyo. Mendoza. 1-3: 28-29.
20. Torquebiau, E. 1992. ¿Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 41:189-207.
21. Vittone, J.; Aller, J.; Otero, G.; Scena, C.; Alberio, R.; Cano, A. 2008. Efecto del momento del destete precoz en vacas primíparas en anestro profundo tratadas con un progestágeno sobre la actividad ovárica posparto. *Revista Argentina de Producción Animal*. 28(1): 173- 175.
22. WECD. 1987. *Our common future*. Oxford University Press, Oxford. Disponible en: www.ciesin.org/lwkmn/mbguidl2.html.

AGRADECIMIENTOS

Al Sr. Lucas Demarque por su aporte y asesoramiento en recolección de datos, campaña de campo y definición de los indicadores utilizados.
A la Prof. Andrea C. Santin por su colaboración en la revisión y traducción del presente trabajo.

Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica

Climate change difficulties in the Buenos Aires city contribution of green roofs in regulating the thermal change

Héctor Rosatto¹, Guido Fernando Botta^{1,2}, Alfredo Tolón Becerra³, Hernán Tardito¹, María Leveratto⁴

Originales: *Recepción*: 29/12/2015 - *Aceptación*: 15/03/2016

RESUMEN

La urbanización se define como el crecimiento físico de las áreas urbanas. Alrededor de la mitad de la población del mundo vive en ciudades. Se espera que esta aumente al 61% para el 2030. Las ciudades, pese a su diversidad presentan características ambientales comunes en muchas partes del mundo, como por ejemplo la presencia de la Isla de Calor Urbana (ICU). La ICU evidencia el impacto del hábitat construido sobre el medio físico y el aumento de temperatura que produce. La mayoría de las emisiones de gas de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global, provienen de zonas urbanas. El cambio climático está afectando el clima a escala global y en las ciudades no solo modifica las condiciones del ciclo hidrológico, sino también afecta la ICU. Para Buenos Aires se está pronosticando, en el período 2020-2029, un aumento de las temperaturas promedio máximas en 0,6°C hasta más de 2°C. La ley N° 3.871, de adaptación y mitigación al cambio climático en Buenos Aires, propone medidas mínimas de adaptación. Una de ellas son las cubiertas verdes, las cuales, ayudarían principalmente a amortiguar las temperaturas extremas y la isla de calor urbano. El objetivo del presente trabajo fue determinar si, para las condiciones climáticas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), las cubiertas vegetadas (con las características del sitio de estudio), pueden significar un aporte a la regulación de temperatura. El estudio permite afirmar, para las condiciones climáticas, período y tipo de cubierta estudiada, que las mismas pueden ser un aporte a la regulación térmica de las edificaciones.

Palabras clave

isla de calor • techos verdes • regulación térmica

-
- 1 Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra, Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires (UBA). Av. San Martín 4453-C1417DSE. Buenos Aires. Argentina. rosatto@agro.uba.ar
 - 2 Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján.
 - 3 Área de Proyectos de Ingeniería. Universidad de Almería. Carretera Sacramento s/n. La Cañada de San Urbano. (04120) Almería, España.
 - 4 Posgrado de especialización en Tecnologías Urbanas Sostenibles. Facultad de Ingeniería-UBA.

ABSTRACT

Urbanization is defined as the physical growth of urban areas. About half of the world's population now lives in cities, and expected that this amount will increase to 61% by 2030, this growth will be more pronounced in developing countries. Cities are the habitat for excellence of human, and present environmental characteristics (urban climate) common in many parts of the world, as for example the presence of the island of urban heat (ICU). The urban heat island reveals the impact of habitat built on the physical environment and the increase in temperature that produces. The majority of greenhouse gas emissions that contribute to global climate change come from urban areas. Climate change is affecting climate globally and in cities not only modifies the conditions of the hydrological cycle, but also affects the ICU. The increase of the temperature according to the models established by the Intergovernmental Panel on climate change could emphasize over the next decades. For Buenos Aires the models predict, specifically in the 2020-2029 period, an increase of average maximum temperatures in 0.6°C to 2°C (for the minimum temperature average). Law number 3.871, called: adaptation and mitigation to climate change in the Autonomous city of Buenos Aires, proposed minimum solutions of adaptation. One of these proposed solutions are the green roofs, which (mentions the law), mainly can help as buffer against temperature extremes and the urban heat island. The objective of the present study was to determine, for the climatic conditions of the Autonomous city of Buenos Aires (CABA), if the green roofs (built with substrates and vegetation available at the study site), can make a contribution to the regulation of the temperature. The study make it possible to say, for the analyzed case and in the climatic conditions of the CABA in the period and types of green roofs studied, that the same may be a contribution to the thermal regulation of buildings.

Keywords

heat island • green roofs • thermal regulation

INTRODUCCIÓN

La urbanización se entiende como el crecimiento físico de las áreas urbanas. Es el movimiento de personas de zonas rurales a zonas urbanas que generalmente está influenciado por la modernización y la industrialización de la economía. Hoy, el desarrollo económico representa una importante variable dentro de los indicadores de gestión de ciudades, por lo tanto, el auge de la construcción ha llevado al levantamiento masivo de grandes edificios. Muchas personas llegan a las ciudades en busca de mejores condiciones de vida y oportunidades laborales, justificando un alto crecimiento poblacional en

el ámbito urbano, por esto el constante crecimiento de la población humana ha llevado a lo largo de la historia a establecer asentamientos urbanos en grandes urbes. Aproximadamente la mitad de la población del mundo vive actualmente en ciudades, y se espera que esta cantidad aumente al 61% para el 2030 (18).

Existe una tendencia manifiesta del aumento del nivel de urbanización, que según predicciones de Naciones Unidas para América Latina (17), se incrementaría, del 71% actual, hasta 81% en el 2025. A su vez, Naciones Unidas (18), estima un incremento en la cantidad de

personas que viven en las ciudades de un 85% entre 2009 y 2050, crecimiento que será más pronunciado en los países en vías de desarrollo.

Las ciudades constituyen el hábitat por excelencia de los seres humanos, y pese a su diversidad presentan características ambientales (clima urbano) comunes en muchas partes del mundo, como por ejemplo la presencia de la Isla de Calor Urbana (ICU), que corresponde a un aumento de origen antrópico de las temperaturas de la ciudad en comparación con su entorno inmediato de carácter natural y rural, siendo más intensa dicha diferencia en las noches (25).

La isla de calor de zonas urbanas evidencia el impacto del hábitat construido sobre el medio físico y el aumento de temperatura que produce (8).

La Agencia Internacional de energía ha estimado que el consumo de combustibles y las emisiones de CO₂ de automóviles a nivel mundial se duplicarán entre el 2000 y el 2050 (26).

La mayoría de las emisiones de gas de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global, provienen de zonas urbanas. Por consiguiente, estas emisiones contribuyen a las condiciones del tiempo a escala local y global, y también a la modificación del clima (7).

El cambio climático es un fenómeno atmosférico global que origina desequilibrios ambientales con manifestaciones muy graves en las ciudades y evidentemente las hace más vulnerables (21).

Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. El Cambio Ambiental Global (CAG) es un

concepto que pretende ampliar y complejizar los conceptos de Cambio Climático y Variabilidad Climática (16).

La variabilidad climática puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénicas (variabilidad externa) (9).

Este cambio está afectando el clima a escala global y en las ciudades no solo modifica las condiciones del ciclo hidrológico, sino también afecta la ICU. El incremento de la temperatura según los modelos establecidos por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, podría acentuarse durante las próximas décadas (4).

Para Buenos Aires se está pronosticando en base a modelizaciones, específicamente en el período del 2020 - 2029, un aumento de las temperaturas promedio máximas en 0,6°C y hasta más de 2,0°C para la temperatura mínima promedio. Se prevé que aumentará la temperatura en 1 °C en 50 años en zonas urbanas y algo menos en zonas rurales (10).

En Buenos Aires las olas de calor intensas (con temperaturas máximas diarias sobre 34°C) ocurren no solamente en verano, sino también en invierno. La isla urbana de calor aparece en invierno y en verano en la noche, mientras que se observa una isla urbana de frío en el verano, durante el día. Hay una tendencia en la reducción de la isla de calor nocturna y tendencia a mayor nubosidad en la noche (10).

Vilatte *et al.* (2014), sostienen la importancia de generar políticas de desarrollo urbanístico e infraestructura para evitar daños recurrentes en el sector urbano.

Redondo Paredes (2014), menciona que si se juntan las variables de reducción de espacios públicos como son las zonas verdes, con una gran cantidad de vehículos

circulando diariamente, se obtiene una alta contaminación atmosférica en determinadas zonas, además de otros tipos de contaminación indirecta como lo son la auditiva y visual.

Los efectos del cambio climático y de los procesos de crecimiento urbano han provocado un deterioro ambiental en la Región Metropolitana Buenos Aires (23).

Un elemento destacable fue la promulgación, en 2011, de la Ley de adaptación y mitigación al cambio climático en la ciudad autónoma de Buenos Aires, N° 3.871, que define las acciones y medidas mínimas de adaptación. Una de esas medidas propuestas son las cubiertas verdes, las cuales ayudan principalmente a amortiguar las temperaturas extremas y la isla de calor urbano. Son de particular importancia en zonas con escaso arbolado. Otras medidas de diseño urbano y de corredores verdes apuntan también a la problemática de las islas de calor y problemática de ventilación, enfatizando el papel del arbolado y de la vegetación en general en el marco de la adaptación (11).

En un estudio realizado sobre la contribución de los techos verdes en la sustentabilidad de las ciudades estudiadas, se menciona que en el primer año de observaciones se demostró que los mismos son eficaces para reducir el flujo de calor desde el techo y consecuentemente, gracias a la regulación de la temperatura, reducen la demanda de energía para el acondicionamiento de los espacios en el edificio. Asimismo, sostienen que los techos verdes son eficaces en la reducción de la temperatura alta y en las fluctuaciones de temperatura diurna experimentados por la membrana del techo en el sistema de techado convencional en el verano (27).

Valdes-Parada y Freyre-Fonseca (2010), citando diversos autores mencionan que

la temperatura del aire disminuye entre la superficie de la vegetación desde 26°C hasta 12,6°C en promedio durante el día. Asimismo, dichos cambios se deben a la geometría de los vegetales y la humedad que estos promueven, así como los procesos fotosintéticos.

De esta manera, se ha demostrado que una pequeña capa de suelo funciona como un aislante térmico para los interiores de los edificios. Las azoteas verdes funcionan incrementando el aislamiento y reduciendo la demanda de aire acondicionado y calentadores. Por lo tanto, se reducen las necesidades de energía en tiempos de calor o de frío. Los mismos autores, sostienen que, aunque el incorporar azoteas verdes, no se traduce en cambios drásticos de la temperatura promedio a lo largo del día, este tipo de sistemas tiene un efecto estabilizador en los perfiles locales, lo cual se traduce en una mayor uniformidad de temperatura en la edificación.

Se debe mencionar que son muy escasos los trabajos en la ciudad de Buenos Aires, Leveratto *et al.* (2014), mencionan que la incorporación de cubiertas verdes tiene un impacto favorable en la reducción de temperaturas superficiales de techos, particularmente durante el día. En horarios nocturnos la capacidad de enfriamiento es mucho menor, ya que el aporte de la evapotranspiración es muy reducido. Pero en todos los casos, presentan mayor capacidad de enfriamiento nocturno, que un techo de membrana tradicional. Durante un día de verano soleado y de altas temperaturas, una cubierta verde con niveles medios de humedad de sustrato, registra en promedio temperaturas superficiales entre 6 y 9 grados centígrados más bajas que un techo tradicional de color gris claro con revestimiento plateado y cierto desgaste.

Objetivo general

Determinar si, para las condiciones climáticas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), las cubiertas vegetadas (construidas con sustratos y vegetación disponibles en el sitio de estudio), pueden significar un aporte a la regulación de la temperatura.

Objetivos específicos

Determinar el comportamiento de una cubierta vegetada con y sin riego artificial, en la regulación de la temperatura interior de una vivienda, en los meses del año que suelen ser más cálidos en el sitio de estudio (enero y febrero).

Determinar la variación de la temperatura dentro de la vegetación implantada y en la base del sustrato de una cubierta vegetada, con y sin riego artificial, en los meses del año que suelen ser más cálidos en el sitio de estudio (enero y febrero).

Hipótesis

La cubierta vegetada permite, en los meses de enero y febrero, contribuir a una disminución de la temperatura interior de la edificación y dicha disminución es mayor en las cubiertas vegetadas con riego.

La temperatura en el interior de la vegetación y en la base del sustrato de una cubierta vegetada es menor cuando la cubierta es con riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Por gentileza de la Agencia de Protección Ambiental (APA) del Ministerio de Ambiente y Espacio Público del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, se pudo acceder a la generación de la infor-

mación térmica a partir de la utilización de un techo verde construido (existente) de tipo extensivo en la terraza (techo accesible) de una construcción edilicia existente en CABA y perteneciente al Gobierno de la Ciudad.

La Dirección General de Estrategias Ambientales - Agencia de Protección Ambiental (APA) del Ministerio de Ambiente y Espacio Público del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, crea en el año 2010 el "Programa de Cubiertas Verdes en Edificios Públicos" con el objeto de impulsar la instalación de cubiertas con vegetación en edificios administrados por el sector público de la Ciudad.

Fruto de este programa, se realizó la construcción de un techo verde en la terraza de un edificio público, en el centro de CABA, seleccionado por contar con una terraza accesible por escalera principal y con barandas de protección en todo su perímetro, con buen asoleamiento y un diseño edilicio que facilita mediciones comparativas. La cubierta se encuentra orientada al noreste, con acceso de sol directo durante todo el año, aun estando ubicada en un área de la ciudad densamente construida.

Bajo la premisa que el peso total máximo de la cubierta verde terminada debe ser menor a 180 Kg/m², con sustrato húmedo, se diseñó una cubierta verde utilizando materiales y sistemas constructivos tradicionales y de obtención razonablemente sencilla en el mercado local.

Para más detalles sobre la construcción de esta terraza, puede consultarse: APA (2014). Esta terraza fue diseñada originariamente con baldosas cementicias elevadas, formando una cámara de aire sobre la membrana aislante hidrófuga.

Zona climática. Característica de la zona de estudio

El clima de Buenos Aires es del tipo templado. Se registran veranos calurosos e inviernos moderadamente fríos. Si bien es húmedo todo el año, las precipitaciones son más abundantes en primavera - verano que en los meses de invierno. La temperatura media anual es de 17,6°C mientras que la humedad relativa promedio es del 71,4%.

Julio corresponde al mes más frío, con una temperatura media de 10°C y mínimas extremas de 0 a -2°C. Sin embargo, en las zonas suburbanas, las temperaturas pueden descender a -5°C. Son poco habituales las heladas debido a dos causas: la aglomeración urbana provoca una isla de calor (a pocos km del centro de Buenos Aires la temperatura suele ser de 2 a 5°C menor) y el hecho que las olas de frío durante el invierno suelen coincidir con la ocurrencia del viento pampero, el cual por haber atravesado la Patagonia y previamente la cordillera de los Andes ha perdido la mayor parte de su humedad. Las únicas veces que nevó en el siglo XX fueron en junio de 1918 por la noche, y en 1967 muy leve, pero diurna. El 9 de julio de 2007 se registró la última nevada en toda la ciudad donde nevó durante toda la tarde. Hay que considerar que la sensación térmica puede ser más baja por efecto del viento, llegando a -3°C en la capital y -7°C en la periferia. Los días en invierno suelen ser muy húmedos, con lloviznas.

El mes más caluroso es enero, con una temperatura media de 24-25°C. Las máximas promedio son de 30°C durante ese mes. El calor es húmedo, por lo que la sensación térmica puede ser muy superior a la temperatura real. El día más caluroso del año suele ser de 37°C a 39°C, con sensaciones térmicas de hasta 42°C. A la noche, la temperatura desciende levemente (6).

Toma de datos

Una "cubierta naturada" involucra la construcción de espacios verdes "contenidos" encima de una estructura hecha por el hombre. Este espacio verde puede estar sobre, en o debajo del nivel del piso, pero en todos los casos la vegetación no es plantada en el "suelo natural". La materialización de cubiertas vegetadas en una ciudad se encuentra condicionada (técnicamente), cuando se trata de construirlas sobre estructuras ya existentes, y que en su cálculo no han contemplado el peso extra que representa la instalación de la cubierta (22).

Rosatto *et al.* (2013), describen las cubiertas vegetadas de tipo "intensivo" y "extensivo", siendo estas últimas las más aptas para ser utilizadas en el sitio de estudio.

Si bien el estudio se planteó para comparar cubiertas vegetadas con y sin riego, se consideró importante para la viabilidad del sistema, que la vegetación a utilizar se seleccionase en función a su escaso mantenimiento.

La elección de especies con capacidad de adaptación a recursos limitados es un criterio fundamental desde el enfoque de la sustentabilidad (Carrieri *et al.*, 1996 citado por Martínez *et al.*, 2013).

Materialización del ensayo

Se construyó un sector de cubierta naturada con riego, otro sin riego y un sector se dejó únicamente con membrana impermeable como testigo.

Se ubicaron los sensores de temperatura o *Dataloggers* en los sitios a estudiar (exterior: testigo, ambiente exterior, cubierta verde con riego y sin riego e interior: cielo raso y ambiente interior).

Componentes del ensayo

En lo referente a la toma de datos, se realizó observaciones en los siguientes tratamientos en los meses de enero y febrero (verano en el Hemisferio Sur) (tabla 1).

Valoración estadística

Uno de los valores estadísticos más recomendado por la Bibliografía (Li (1991), USGS (1998) y Yang y Hodler (2000), para estudiar series de datos, es el RMSE (Root Mean Squared Error).

En este caso, este índice de precisión se utilizó para determinar la tolerancia a utilizar (tres veces el RMSE) a fin de eliminar de la serie de datos todas aquellas anomalías debidas al mal funcionamiento de los sensores y que no pueden considerarse errores, sino equivocaciones.

El criterio para la validación de datos fue entonces, que no superaran la tolerancia estipulada (3 veces el RMSE) y en caso de superarlas, se eliminarían de la serie, actualizándose en cada eliminación de datos el RMSE, hasta que no aparecieran más datos por encima de la tolerancia.

Con los datos obtenidos, se realizó un ANVA con el método de comparación de Duncan y un nivel de significación de 0,95.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los datos obtenidos por los sensores interiores y exteriores tanto en la zona con el techo verde construido como en el testigo sin techo verde, y luego de aplicar los criterios establecidos en el ítem anterior (valoración estadística), se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 1. Tratamientos.

Table 1. Treatments.

Ubicación del sensor Tratamiento CCAA	Temperatura del aire (a 20 cm)	Temperatura dentro de la vegetación	Temperatura dentro del sustrato (a nivel de la base del mismo)	Temperatura del aire (interior)
Sin Cubierta Verde: Testigo (exterior de la edificación)	X	-----	-----	-----
Con Cubierta Verde con Riego (exterior de la edificación)	X	X	X	-----
Con Cubierta Verde sin Riego (exterior de la edificación)	X	X	X	-----
Sin Cubierta Verde: Testigo (interior de la edificación)	-----	-----	-----	X
Con Cubierta Verde con Riego (interior de la edificación)	-----	-----	-----	X
Con Cubierta Verde sin Riego (interior de la edificación)	-----	-----	-----	X

Para el mes de enero

Exterior del edificio

No hay diferencias significativas en la temperatura del Aire (encima de la cubierta) entre el testigo y los dos tratamientos:

- Temperatura del Aire sobre la Cubierta Verde con Riego (26,96°C);
- Temperatura del Aire sobre la Cubierta Verde sin Riego (27,33°C);
- Temperatura del Aire del Testigo (27,63°C).

En cambio sí se presentaron diferencias significativas entre la temperatura en el testigo y dentro del canopeo (interior de la vegetación):

- Temperatura del Aire dentro del Canopeo de la Cubierta Verde con Riego (24,90°C);
- Temperatura del Aire del Canopeo de la Cubierta Verde sin Riego (25,99°C);
- Temperatura del Aire del Testigo (27,63°C).

De igual manera ocurrió con la temperatura a nivel de la base del sustrato, la temperatura del testigo fue significativamente mayor que la de los dos tratamientos:

- Temperatura en la base del Sustrato de la Cubierta Verde con Riego (25,16°C);
- Temperatura en la base del Sustrato de la Cubierta Verde sin Riego (26,09°C);
- Temperatura del Testigo (sensor a nivel de la membrana del techo) (28,77°C).

Asimismo existen diferencias significativas entre los dos tratamientos.

La temperatura en la base del Sustrato de la Cubierta Verde con Riego es significativamente menor a la temperatura en la base del Sustrato de la Cubierta Verde sin Riego.

García Villalobos (2010), menciona que las plantas solas pueden, a través de la transpiración y la condensación del agua, reducir las oscilaciones de la temperatura. Este proceso se fortalece aún más por la gran capacidad de almacenamiento de calor del agua existente en las plantas y en el sustrato. En este estudio, lo mencionado no ocurre posiblemente debido a que en el mes de enero no ocurrieron precipitaciones lo que

estableció diferencias a favor de la cubierta verde regada. Es importante recordar aquí que los cálculos se confeccionaron sobre la base de las temperaturas medias de los meses analizados.

En la bibliografía suelen reportarse análisis similares pero utilizando temperaturas extremas. Por ejemplo, García Villalobos (2010), menciona estudios realizados en Kassel, Alemania, donde en un sustrato de 16 cm de espesor, la temperatura exterior al mediodía es de 30°C, la de la vegetación 23°C y bajo la capa de sustrato 17,5°C. Otro estudio realizado por Sonne (2006), en la Universidad Central de Florida, donde se instaló un techo verde en un edificio, la máxima diferencia de temperatura registrada entre un techo convencional y otro verde fue de 21°C (54°C en el techo convencional y 33°C en el techo verde).

Estos cambios significativos ocurrieron durante los períodos de los picos de temperatura de ambos, el pico de temperatura de la superficie del techo convencional ocurrió a la 1:00 PM, mientras que el pico de temperatura de la superficie del techo verde ocurrió a las 10:00 PM. La temperatura mínima promedio para el techo convencional fue de 22°C y para el techo verde fue de 29°C. Bajas temperaturas nocturnas en el techo convencional son debido a que su superficie está expuesta directamente al cielo nocturno mientras que la superficie del techo verde se encuentra cubierta con plantas.

En este ensayo, el 29 de enero fue el día más caluroso del mes. Registrada a las 12:15 h la temperatura en el aire de la cubierta testigo fue de 41,80°C, mientras que en el aire de la cubierta verde con riego fue de 32,79°C, a nivel de la

vegetación 27,21°C y debajo del sustrato 25,48°C. Esto demuestra que una cubierta verde en verano tiene un efecto de enfriamiento considerable.

Respecto de las diferencias halladas a nivel de la base del sustrato, la reducción con respecto al testigo de 3,5°C y 2,5°C respectivamente, en cuanto a las situaciones con y sin riego, podría deberse a que el espesor del sustrato, incrementa la capacidad térmica y por lo tanto produce mayor almacenamiento y retraso térmico en las "techumbres" (29).

Por otro lado, el suelo húmedo puede proveer durante todo el día un efecto de aislación adicional en la azotea (35); en este trabajo la diferencia entre las medias de temperatura del sustrato de la Cubierta Verde con riego y sin riego, es de aproximadamente 1°C a favor de la cubierta regada.

Interior del edificio

Interior: Losa Testigo vs Losa cubierta con y sin riego - mes de enero

El análisis estadístico muestra que existen diferencias significativas entre los dos tratamientos y el testigo:

- Temperatura del Aire interior- Cubierta Verde con Riego (25,75°C);
- Temperatura del Aire interior- Cubierta Verde sin Riego (25,81°C);
- Temperatura del Testigo (sensor a nivel de la losa interior del techo) (29,11°C).

La reducción de temperatura de la losa interior de ambas cubiertas verdes respecto del testigo (losa interior de la cubierta sin techo verde) es de 3,3°C, lo que significa una reducción del 11%. Este resultado es congruente con los reportados por Vecchia *et al.* (2006) y Alpuche *et al.* (2010), aunque con valores algo mayores debido a que los ensayos fueron realizados en México y Venezuela.

Por otro lado, si se analiza temperaturas máximas, el ensayo muestra

una reducción respecto de la temperatura exterior de alrededor del 38% tanto para la cubierta verde con riego y sin riego. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Santamouris (2014), quien sostiene que muchos estudios han evaluado el flujo total de calor al edificio a través de la azotea verde, citando los resultados expuestos en Lazzarin *et al.* (2005), Onmura *et al.* (2001) y Tang y Jiang (2009), quienes muestran que el flujo total de calor que entra en el edificio por debajo del techo verde se redujo en un 60%, 50% y 73% respectivamente, en comparación con un techo de hormigón convencional y sin techo verde independientemente de las condiciones meteorológicas.

Para el mes de febrero

Exterior del edificio

Del análisis surge que no hay diferencias significativas en la temperatura del Aire (encima de la cubierta) entre el testigo y los dos tratamientos:

- Temperatura del Aire sobre la Cubierta Verde con Riego (25,55°C);
- Temperatura del Aire sobre la Cubierta Verde sin Riego (25,76°C);
- Temperatura del Aire del Testigo (26,49°C).

En cambio sí se aprecian diferencias significativas, a nivel del canopeo, entre el Testigo (con temperatura superior) y la temperatura de la Cubierta Verde con Riego, pero no se encuentran diferencias significativas entre el Testigo y la Cubierta Verde sin Riego. No se aprecian diferencias significativas entre los dos tratamientos:

- Temperatura del Aire dentro del Canopeo de la Cubierta Verde con Riego (24,38°C);
- Temperatura del Aire del Canopeo de la Cubierta Verde sin Riego (25,01°C);
- Temperatura del Aire del Testigo (26,49°C).

Respecto de la temperatura a nivel de la base del sustrato, la temperatura del testigo fue significativamente mayor que

la de los dos tratamientos. Sin embargo, no hay diferencias significativas entre los dos tratamientos:

- Temperatura en la base del Sustrato de la Cubierta Verde con Riego (25,48°C);
- Temperatura en la base del Sustrato de la Cubierta Verde sin Riego (25,91°C);
- Temperatura del Testigo (sensor a nivel de la membrana del techo) (27,57°C).

La falta de diferencias significativas entre los dos tratamientos a nivel canopeo y del sustrato, puede explicarse en razón de que el mes de febrero fue un mes lluvioso.

Interior del edificio

El análisis estadístico muestra que existen diferencias significativas entre el testigo y los dos tratamientos:

- Temperatura del Aire interior- Cubierta Verde con Riego (26,88°C);
- Temperatura del Aire interior- Cubierta Verde sin Riego (26,90°C);
- Temperatura del Testigo (sensor a nivel de la losa interior del techo) (28,78°C).

El ANVA muestra diferencias significativas entre el testigo y los dos tratamientos. Nuevamente aquí por las precipitaciones no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

La disminución de temperatura de la losa interior de ambas cubiertas verdes respecto del testigo (losa interior de la cubierta sin techo verde) es de alrededor de 2°C, lo que significa una reducción del 7%. Este resultado es algo menor a los reportados por Vecchia *et al.* (2006) y Alpuche *et al.* (2010), anteriormente citados.

Si se analiza las temperaturas máximas, se encuentran resultados similares a los reportados para el mes de enero. El ensayo nuevamente muestra una reducción respecto de la temperatura exterior de alrededor del 38% tanto para la cubierta verde con riego y sin riego. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Santamouris (2014).

Si bien las reducciones de temperatura de todos los tratamientos analizados son de pocos °C, son congruentes con lo mencionado por Alexandri y Jones (2006) para climas húmedos. Sin embargo, llevados a porcentaje los resultados hallados adquieren mayor significación.

Si se recuerda las hipótesis planteadas:

La cubierta vegetada permite, en los meses de enero y febrero, contribuir a una disminución de la temperatura interior de la edificación y dicha disminución es mayor en las cubiertas vegetadas con riego.

La temperatura en el interior de la vegetación y en la base del sustrato de una cubierta vegetada es menor cuando la cubierta es con riego.

Respecto de la primera hipótesis, se puede afirmar que se ha validado la misma, dado que en el mes de enero se verificó una reducción de la temperatura del 11% y del 7% en el mes de febrero.

En cuanto a la segunda hipótesis, la temperatura dentro del canopeo, en el mes de enero, presenta diferencias significativas, tanto respecto de la temperatura del aire (fuera del canopeo) como entre los dos tratamientos (con y sin riego). En este mes, la temperatura en la base del sustrato de la Cubierta Verde con Riego es significativamente menor a la temperatura en la base del Sustrato de la Cubierta Verde sin Riego.

En cambio en el mes de febrero, la temperatura de la cubierta verde con riego fue significativamente menor que la del aire, pero no se verificó diferencias en la temperatura dentro del canopeo de las cubiertas verdes con riego y sin riego y tampoco en la base del sustrato (con y sin riego).

Como se mencionó, lo ocurrido en el mes de febrero podría deberse a que el mismo fue un mes anormalmente lluvioso, lo que enmascara el efecto del riego. Podría decirse entonces, que esta segunda hipótesis ha sido validada solo para el mes de enero.

CONCLUSIONES

Es posible afirmar, en el caso analizado y en las condiciones climáticas de CABA en el período y para los tipos de techos verdes estudiados, que las cubiertas vegetadas pueden ser un aporte a la regulación térmica de las edificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alexandri, E.; Jones, P. 2006. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Elsevier. Building and Environment* 43 (2008). Universidad de Cardiff. Reino Unido. 480-493.
2. Alpuche, M. G.; Moreno, H.; Ochoa, M. J.; Marinic, I. 2010. Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes. Departamento de Arquitectura y Urbanismo, Volumen III, N°3. México, Universidad de Sonora.
3. APA. 2014. Cubiertas Verdes en Edificios públicos. Publicación de la Agencia de Protección Ambiental Ministerio de Ambiente y Espacio Público - Disponible en: buenosaires.gob.ar/agenciaambiental. 60 p.
4. Arco Molina, J. G.; Hadad, M. A.; González, A. F.; Roig, F. A. 2015. Muerte foliar en plantines de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch por efecto de temperaturas de congelamiento. Resultados preliminares. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 59-65.
5. Carrieri, S. A.; Codina, R. A.; Manzano, E. R. 1996. Arbolado de rutas en zonas áridas. Propuesta para la Provincia de Mendoza. Ed. Fac. de Ciencias Agrarias. UNCUYO. 105 p.
6. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas – FAUBA. Comunicación Personal 16/10/2015.
7. Crutzen, P. J. 2004. New Directions: The growing urban heat and pollution island effect-impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment* 38. Pag. 3539-3540.
8. Evans, J. M.; de Schiller, S. 2005. La Isla de Calor en ciudades con clima cálido-húmedo el caso de Tampico, México. *Avances en Energías Renovables y Medio Aire. Argentina.* 9: 37-42.
9. Farreras, V. 2014. Valoración económica de los efectos de la presión antrópica sobre el piedemonte mendocino. Una aplicación de los experimentos de elección discreta. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(2): 113-133.
10. García Villalobos, I. 2010. Beneficios de los Sistemas de naturación en las edificaciones. Facultad de Arquitectura, SNES2010-ABC-022. UNAM. México D.F. 5 p.
11. Krellenberg, K.; Jordán, R.; Rehner, J.; Schwarz, A.; Infante, B.; Barth, K.; Pérez, A. (Editores). 2013. *Clima Adaptación Santiago (CAS) - Adaptación al cambio climático en megaciudades de América Latina. Red Regional de Aprendizaje, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)- Documento de proyecto. Naciones Unidas, Santiago de Chile.* 96 p.
12. Lazzarin, R. M.; Castellotti, F.; Busato, F. 2005. Experimental measurements and numerical modelling of a green roof". *Energy and Buildings.* 37(12): 1260-1267.
13. Leveratto, M. J.; González Otharán, F.; Fernández Bados, O.; Propati, M.; Reobo, M.; Satelier, J. 2014. Cubiertas verdes como herramienta para la mitigación de isla de calor en áreas urbanas de la Ciudad de Buenos Aires. *Actas Congreso Solar Cities 2014, Buenos Aires.* Disponible en: http://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/documents/actas_-_trabajos_completos_0.pdf. 127 a 137.
14. Li, Z. 1991. Effects of check points on the reliability of DTM accuracy estimates obtained from experimental tests. *Photogrametric Engineering & Remote Sensing.* 47(10): 1333-1340.
15. Martínez, C. F.; Cavagnaro, J. B.; Roig Juñent, F. A.; Cantón, M. A. (2013). Respuesta al déficit hídrico en el crecimiento de forestales del bosque urbano de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Univ. Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 45(2): 47-64.

16. Mussetta, P.; Barrientos, M. J. 2015. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el cambio ambiental global. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(2): 145-170.
17. Naciones Unidas (CELADE – CEPAL). 1999. América Latina: Proyecciones de población urbano rural 1970 – 2025. *Boletín Demográfico No. 63. Santiago, Chile.*
18. Naciones Unidas (UNDESA). 2010. *World Urbanization Prospects. The 2009 Revision. ESA/P/WP/215.* Disponible en: http://esa.un.org/unpd/wup/Documents/WUP2009_Highlights_Final.pdf
19. Onmura, S.; Matsumoto, M.; Hokoi, S. 2001. Study on evaporative cooling effect on roof lawn gardens. *Energy and Buildings.* 3: 653-666.
20. Redondo Paredes, D. F. 2014. Beneficios socio ambientales de las infraestructuras verdes urbanas y su aplicación en la construcción y planificación urbanística en la ciudad de Bucaramanga. *PUENTE. Revista Científica. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.* 15-23.
21. Rodríguez Laredo, D. M. 2011. La gestión del verde urbano como un criterio de mitigación y adaptación al cambio climático. *Revista Institucional de Ciencias, Tecnología e Innovación: Investig@UMSA [online].* 2(2): 54-70.
22. Rosatto, H.; Meyer, M.; Laureda, D.; Cazorla, L.; Barrera, D.; Gamboa, P.; Villalba, G.; Bargiela, M.; Pruzzo, L.; Rodríguez Plaza, L.; Mazzeo, N.; Caso, C.; Rocca, C.; Hashimoto P.; Kohan, D.; Quaintenne, E. 2013. Eficiencia en la retención del agua de lluvia de Cubiertas Vegetadas de tipo “Extensivo” e “Intensivo”. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 45(1): 169-183.
23. Rosatto, H.; Moyano, G.; Cazorla, L.; Laureda, D.; Meyer, M.; Gamboa, P.; Bargiela, M.; Caso, C.; Villalba, G.; Barrera, D.; Pruzzo, L.; Rodríguez Plaza, L.; Oliveri, A.; Waslavsky, A.; Hashimoto, P.; Kohan, D. 2015. Cubiertas Vegetadas de tipo “Extensivo” - Eficiencia en la retención del agua de lluvia de distinto tipo de Vegetación Implantada. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(2): 123-134.
24. Santamouris M. 2014. Cooling the cities-A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Elsevier. Solar Energy. Atenas. Grecia.* 103: 682-703.
25. Sarricolea, P.; Aliste, E. Castro, P.; Escobedo, C. 2008. Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología.* 8: 71-84.
26. Secretaría de Energía (SENER). 2011. *Transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía. Estados Unidos Mexicanos. Gobierno Federal.* 99 p.
27. Pandey, S.; Hindoliya, D. A.; Mod, R. 2012. Artificial neural network for prediction of cooling load reduction using green roof over building in Sustainable City. *Sustainable Cities and Society.* 3: 37-45.
28. Sonne, J. 2006. Evaluating green roof energy performance. *ASHARE Journal.* Vol 48: 59-61. Universidad de Florida. EE UU
29. Tang, M.; Jiang, L. 2009. Analysis on thermal measuring of green roof. *Journal of Central South University of Technology.* 16: 150-153.
30. United States Geological Survey (USGS). 1998. *Standards for Digital Elevation Models. National Mapping Program - EEUU.* 410 p.
31. Valdes-Parada, F. J.; Freyre-Fonseca, V. 2010. Análisis de la transferencia de calor en azoteas verdes. *XXXI Encuentro Nacional de la AMIDIQ. Huatulco, Oaxaca.* 7 p.
33. Vecchia, F.; Castañeda, G.; Quiroa, J. A. 2006. Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales artículo tecnología y construcción. *Venezuela, Caracas.* 22: 09-13.
34. Vilatte, C.; Aguas, L.; Confalone, A. 2014. Influencia de los ciclos solares sobre las precipitaciones en Azul, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(1): 227-233.

35. Wong Nyuk Hien; Yu Chen; Chui Leng Ong; Angelia Sia. 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. Elsevier. Building and Environment. Singapore. 38: 261-270.
36. Yang, X.; Hodler, T. 2000. Visual and statistical comparisons of surface modeling techniques for point-based environmental data. Cartography and Geographic Information Science, 27(2): 165-176.

Efecto nematocida de extractos de ajo, orujo de uva y alperujo de aceituna; sobre *Meloidogyne incognita*, en vid, cv Chardonnay

Nematicidal effects of extracts of garlic, grape pomace and olive mill waste, on *Meloidogyne incognita*, on grapevine cv Chardonnay

Marcelo Diego Martinotti ¹, Sergio Juan Castellanos ^{1,2}, Roxana González ^{3,4}, Alejandra Camargo ^{3,4}, Martin Fanzone ⁵

Originales: *Recepción*: 26/06/2015 - *Aceptación*: 30/12/2015

RESUMEN

Meloidogyne incognita afecta significativamente al cultivo de vid en Argentina. Actualmente se dispone de pocas herramientas para su control. El objetivo de este trabajo fue comparar el efecto de extractos acuosos de bulbillos de ajo, de compost inmaduro de alperujo de aceituna, de compost inmaduro de orujo de uva fresco y de compost inmaduro de orujo de uva agotado, sobre el índice de agallamiento (IA), el índice de reproducción de huevos y juveniles J_2 (IR) y la población final de hembras de *M. incognita* (H), en plantas de vid, cv Chardonnay. La experiencia fue realizada en invernáculo, con plantas en maceta. El único tratamiento que presentó diferencias significativas respecto del control fue el extracto de bulbillos de ajo; mientras que los extractos de compost inmaduro de alperujo de aceituna, de compost inmaduro de orujo de uva fresco y de compost inmaduro de orujo de uva agotado, no afectaron los parámetros evaluados. El extracto de bulbillos de ajo disminuyó un 73% el IA, un 80% el IR y un 94% de H, lo que permite esperar que en el futuro pueda desarrollarse a partir de este material vegetal, un nematocida orgánico y de bajo impacto ambiental.

Palabras clave

protección vegetal • vid • *Meloidogyne incognita* • extracto vegetal • nematocida

-
- 1 Cátedra de Terapéutica Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Alte Brown 500. C. P. M5528AHB. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. mmartinotti@fca.uncu.edu.ar
 - 2 Laboratorio de Nematología. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.
 - 3 Laboratorio de Cromatografía para Agroalimentos Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.
 - 4 Instituto de Biología Agrícola de Mendoza (IBAM) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
 - 5 Laboratorio de Aromas y Sustancias Naturales, Estación Experimental Agropecuaria Mendoza, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina.

ABSTRACT

Meloidogyne incognita, significantly affects the grapevines in Argentina. Currently there are few tools available to control this pest. The objective of this work was to compare the nematocidal effects of aqueous extracts of garlic bulbils, immature compost of olive mill waste, immature compost of fresh grape pomace and immature compost of spent grape pomace on the galling index (IA), the rate of reproduction of the eggs and juveniles J_2 (IR) and the final population of *M. incognita* females (H) in grapevines, cv Chardonnay. The experiments were performed with potted plants of grapevines cv Chardonnay, in greenhouse conditions. The only treatment that showed statistically differences compared to the control, was the extract of garlic bulbils; while the extracts of immature compost of olive mill waste, immature compost of fresh grape pomace and immature compost of spent grape pomace, did not affect the evaluated parameters. The extract of garlic bulbils decreased by 73% the IA, 80% the IR and 94% H, therefore the development from this material of an organic nematicide with low environmental impact could be expected.

Keywords

crop protection • grapevine • *Meloidogyne incognita* • vegetal extracts • nematicide

INTRODUCCIÓN

Las plagas que presentan mayor relevancia en la viticultura argentina son cochinilla harinosa (*Planococcus ficus*) y nematodos (11) a las que se suma desde 2010, polilla de los racimos (*Lobesia botrana*) como plaga cuarentenaria A2 en la Provincia de Mendoza (20). La especie de nematodo con mayor distribución es *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood, la cual produce daños que justifican su control. En Argentina, se estima que ocasiona para el cultivo de vid, pérdidas del 15% (11), mientras que a nivel mundial, en la agricultura causa pérdidas del orden de los U\$S100 billones anuales (17) debido al carácter polífago que posee.

Los nematodos fitófagos se encuentran entre las plagas más difíciles de controlar. El desarrollo de nuevos nematicidas es una tarea difícil, debido a que la mayoría de las especies pasan su vida en el suelo o en raíces de las plantas, existiendo una

distancia considerable entre la plaga y el sitio de aplicación de cualquier nematicida.

Por otra parte, la cutícula del nematodo es impermeable a muchas moléculas orgánicas. En consecuencia, la mayoría de los nematicidas han tendido a ser muy tóxicos o volátiles, con una especificidad muy pobre y un elevado riesgo para la seguridad de las personas o el ambiente (7).

El único nematicida registrado para vid en Argentina es el fenamifos (21), un organofosforado sistémico de amplio espectro de acción, neurotóxico que produce la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, con una toxicidad según la Organización Mundial de la Salud (OMS) de clase "Ia" (producto sumamente peligroso) de banda roja, cuyo uso está restringido, debido a los riesgos para la salud humana y el ambiente. A esto se suma que su costo es elevado y presenta importantes restricciones en los mercados consumidores a los cuales Argentina exporta, debido a las bajas tolerancias de los residuos

en uva y en vino. En Argentina su tolerancia es de 0,10 ppm (21) y en la Unión Europea es de 0,03 ppm (16).

Otra estrategia de control de nematodos, es el uso de portainjertos de variedades resistentes, que si bien es eficaz, representa un alto costo al momento de implantación. Al contar con pocas herramientas para el control de esta plaga, se hace necesaria la investigación de alternativas de manejo de nematodos en vid, priorizando aquellas de bajo impacto ambiental.

Entre los antecedentes en el uso de nematocidas de origen natural se puede citar la utilización de enmiendas orgánicas (18), controladores biológicos (12), y de extractos de origen vegetal, como orujo de uva (constituido por los hollejos y pepitas de las bayas de uva, que quedan como residuo luego de la fermentación alcohólica durante el proceso de vinificación), alperujo de aceituna (constituido por agua y restos de carozo del fruto de aceituna, que quedan como residuo luego del proceso de elaboración de aceite) y ajo (7).

D'Addabbo y Sanaselli (1998), demostraron que el orujo de uva fresco (orujo de uva obtenido inmediatamente finalizada la vinificación) tiene un efecto supresivo sobre *M. incognita* en plantas de tomate.

Castellanos y del Toro (2005), evaluaron en plantines de tomate infestados con *M. incognita* en maceta, el efecto nematocida de un extracto acuoso obtenido como resultado del macerado de orujo de uva fresco y un macerado de orujo de uva agotado (obtenido en destilería, luego de la extracción de taninos y alcohol residual usando el orujo fresco como materia prima) en contacto con agua, con dosis equivalente a 20 t/ha.

El mejor tratamiento resultó utilizar orujo de uva fresco, con un índice de

agallamiento de 2,2; un porcentaje de raíces infestadas menor al 25% y con 43,8 J₂ (larvas de 2° estadio) y 9,6 hembras con masas de huevos en 10 gramos de raíces. En segundo lugar, se ubicó fenamifos, con un índice de agallamiento de 2,4; con más del 25% de raíces atacadas y con 74,8 J₂ y 8,4 hembras con masas de huevos, en 10 gramos de raíces.

En tercer lugar, el orujo de uva agotado con un índice de agallamiento 2,6; con un 50% de raíces afectadas, con 787,2 J₂ y 21,6 hembras con masas de huevos.

El testigo tuvo un índice de agallamiento de 4,2; más del 75% de raíces afectadas; 982,8 J₂ y 123 hembras con masas de huevos en 10 gramos de raíz. Rivera y Aballay (2008) obtuvieron en plantas de vid variedad Chardonnay en maceta, la menor tasa de multiplicación (IR) de *M. incognita* con orujo de uva distribuido superficialmente como cobertura, por encima de la tierra (IR=3,4).

En el tratamiento donde el orujo de uva fue incorporado en todo el volumen de tierra como una enmienda, la tasa de multiplicación del nematodo fue mayor (IR=16). Esto se debió a la acción de riegos frecuentes que extraían taninos con acción nematocida del orujo de uva utilizado como cobertura, mientras que cuando el orujo de uva fue incorporado en el suelo, estos compuestos fueron fijados a la materia orgánica y disminuyó su acción sobre la plaga. El testigo presentó un IR=7,7 y el testigo positivo fenamifos un IR=1,1.

Cayueta, M. *et al.* (2008), observaron en bioensayos, con nematodos en cajas de Petri, que extractos acuosos de alperujo de aceituna en diluciones 1:50 (m/v) y 1:10 (m/v) inhibían la eclosión de huevos de *M. incognita* en un 50% y 90% respectivamente, e inmovilizaba a las formas J₂ en un 95%; mientras que

el extracto acuoso de compost maduro y estabilizado de alperujo de aceituna poseía un control muy bajo a cualquiera de las concentraciones ensayadas.

Aleem Khan *et al.* (2011) concluyeron que el extracto acuoso de bulbos de ajo posee actividad nematocida, reduciendo más de ocho veces la presencia de masas de huevos de *M. incognita* en raíces de tomate, respecto del testigo. Martinotti *et al.* (2013), obtuvieron un porcentaje de control del 94,7% sobre *M. incognita* con extracto acuoso de ajo, en condiciones *in vitro*.

Si bien existen trabajos en los cuales se ha evaluado el efecto nematocida de extractos vegetales, al momento no se ha estudiado el efecto nematocida de los extractos acuosos de ajo, alperujo, orujo fresco y orujo agotado sobre *M. incognita* en condiciones *in vivo* en plantas de vid, esta razón es la que motivó la realización del presente trabajo.

El empleo de estos extractos acuosos de origen vegetal, a diferencia del uso de fenamifos, único nematocida con registro para vid en Argentina, no presenta riesgos toxicológicos, ambientales, ni comerciales por la presencia de residuos en vino, por lo que aportarían mayor sustentabilidad al sistema vitivinícola local.

Objetivo

Estudiar el efecto de extractos acuosos de: bulbillos de ajo, de compost inmaduro de alperujo de aceituna, de compost inmaduro de orujo de uva fresco y de compost inmaduro de orujo de uva agotado, en el control de *M. incognita* en plantas de vid, de la variedad Chardonnay cultivada en maceta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las plantas y sustrato libres de nematodos

Se partió de plantas de vid cv Chardonnay, adquiridas en un vivero comercial, de un año de edad, con sanidad certificada por análisis de laboratorio, libres de nematodos y de sustrato esterilizado mediante bromuración, en dosis de 60 g.m⁻², de textura franco arenosa.

Obtención del inóculo de *M. incognita*

Se colectó una masa de huevos de *M. incognita* obtenida de un viñedo infectado. Estos huevos fueron incubados a 28°C por tres días obteniendo las formas juveniles J₂. Estas larvas se multiplicaron en plantas de vid libres de nematodos, obteniendo la cantidad necesaria de nematodos para la experimentación. De estas plantas se obtuvo huevos y larvas que fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1%, con el fin de eliminar microorganismos que pudieran afectar su viabilidad.

Finalmente, se utilizó un tamiz de malla n° 325 para lavar las formas infestivas hasta eliminar el hipoclorito de sodio. Todos los huevos y juveniles (J₂) se concentraron en un matraz de 1000 ml.

Para calcular la concentración final de huevos y juveniles J₂, se mantuvo el líquido en agitación constante con la ayuda de una bomba de aire con un caudal de 50 L.hora⁻¹, que a través de un tubo de silicona producía burbujas en la base del recipiente y con una pipeta se extrajeron alícuotas de 1 ml, con 100 formas infestivas (huevos y J₂) (9).

Obtención de extracto acuoso de bulbillos de ajo

Se pesó 250 gramos de bulbillos de ajo morado (*Allium sativum* L. subespecie *pekinense*) y se colocó en un vaso de precipitado, adicionando 1000 mL de agua destilada estéril en relación de dilución 2,5:10 (m/v). Se trituro los bulbillos con mixer picador con cuchillas de doble acción y se filtró por un tamiz de 400 mesh (1). Este proceso se repitió 10 veces acumulando el extracto necesario para el ensayo. Para caracterizar el extracto obtenido, se cuantificó alicina (principal compuesto activo), mediante cromatografía líquida de alta resolución acoplada a detector ultravioleta (HPLC-UV) (3), utilizando una columna de fase reversa ODS C18 (254 mm x 0,46 mm D. I., 5 µm). Como fase móvil se empleó agua: metanol (50:50 v/v), un flujo de 1 mL min⁻¹, loop de 10 µL y el detector se ajustó a una longitud de onda de 245 nm.

Para la identificación y cuantificación se empleó alicina sintetizada en laboratorio mediante la oxidación de dialil disulfuro con agua oxigenada (14). El resultado se muestra en la tabla 1.

Obtención del extracto acuoso de compost inmaduro de alperujo de aceituna

La muestra de alperujo de aceituna, constituida por la fracción acuosa y por los restos sólidos del carozo del fruto de la aceituna, obtenido luego de la molienda de aceitunas en el proceso de extracción de aceite, se dejó secar a temperatura ambiente, realizando controles de humedad y temperatura.

El compost inmaduro obtenido, se molió en molino de martillos hasta obtener partículas de hasta 1 mm, separando luego las partículas mayores con un tamiz y se preparó el extracto acuoso. Para ello, se agregó 1200 g de compost molido a 12000 mL de agua destilada estéril, se dejó macerar durante 2 horas a temperatura ambiente agitándolo en forma permanente y luego se pasó por un papel de filtro (6).

La caracterización y cuantificación de los compuestos fenólicos individuales se realizó por HPLC-DAD siguiendo la metodología descrita por Fanzone (2012).

Tabla 1. Resultados analíticos de la identificación y cuantificación de alicina y polifenoles presentes en los extractos acuosos obtenidos.

Table 1. Analytical result of identification and quantification of alicin and polyphenols contained in aqueous extracts obtained.

Extracto vegetal	Compuestos bioactivos
Bulbillos de ajo	Alicina: 4,00 ± 0,011 ppm.
Compost inmaduro alperujo	Polifenoles totales: 14,56 ppm Los predominantes fueron: los flavonoles dímero y trímero de procianidina (9,80 ppm).
Compost inmaduro orujo uva fresco	Polifenoles totales 17,84 ppm, resultando el flavonol dímero de procianidina con 10,8 ppm, el compuesto predominante.
Compost inmaduro orujo uva agotado	Polifenoles totales 4,02 ppm, entre los cuales predominaron los flavonoles dímero y trímero de procianidina (2,63 ppm).

La separación de compuestos fue realizada en fase reversa mediante una columna C18 Nova-Pak (300 mm x 3,9 mm I.D., 4 mm; Waters Corp., Milford, MA, Estados Unidos) a 25°C. Se empleó un gradiente de dos solventes: A (agua/ácido acético, 98:2, v/v) y B (agua/acetonitrilo/ácido acético, 78:20:2, v/v/v), aplicados con un flujo de 0,9 mL/min desde 0 a 55 min, y de 1 mL/min desde 55 a 125 min; según el siguiente programa: 100-20% A y 0-80% B desde 0 a 55 min, 20-10% A y 80-90% B desde 55 a 57 min, 10% A y 90% B isocrático desde 57 a 70 min, 10-0% A y 90-100% B desde 70 a 80 min, 100% B isocrático desde 80 a 125 min, finalizando con un lavado con metanol durante 5 minutos y posterior restablecimiento de condiciones iniciales hasta equilibrar el sistema.

La detección fue realizada en todo el espectro comprendido entre 210 y 360 nm. La identificación de los compuestos individuales se realizó por comparación de espectros y tiempos de retención con estándares comerciales.

La cuantificación se llevó a cabo por el método del estándar externo con estándares comerciales: [ácido gálico (149-91-7), ácido siríngico (530-57-4), ácido cafeico (331-39-5), ácido p-cumárico (501-98-4), triptofol (526-55-6), (+)-catequina (7295-85-4), (-)-epicatequina (490-46-0), y quercetina-3-glucósido (21637-25-29), fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, Estados Unidos). El tirosol (501-94-0) fue provisto por Fluka (St. Louis, MO, Estados Unidos); mientras que el ácido protocatéquico (99-50-3) fue suministrado por Extrasynthese (Lyon, Francia).

Las curvas de calibración para cada estándar fueron obtenidas por inyección de soluciones patrones, bajo las mismas condiciones que las muestras problema, en el rango comprendido entre 0 y 1,5 g/L ($R^2 \geq 0,94$).

Los compuestos para los cuales no se disponía de estándares comerciales fueron cuantificados con las curvas de quercetina (dihidroflavonoles), quercetina-3-glucósido (glicósidos de quercetina y otros flavonoles), ácido cafeico (ácidos caftarico y cutárico), y (+)-catequina (procianidinas). Todos los análisis fueron realizados por triplicado. El resultado se muestra en la tabla 1 (pág. 215).

Obtención del extracto acuoso de compost inmaduro de orujo de uva fresco

La muestra de orujo de uva fresco, obtenida como subproducto de vinificación en bodega, constituido por los restos sólidos de los hollejos y de las semillas de las bayas de uva, se dejó secar a temperatura ambiente, realizando controles de humedad y temperatura para evitar el ardido.

El compost inmaduro obtenido, se molió con molino de martillos hasta obtener partículas de hasta 1 mm, separando luego las partículas mayores con un tamiz y se preparó el extracto acuoso. Para ello, se agregó 1200 gramos de compost molido a 12000 mL de agua destilada estéril en relación de dilución 1:10 (m/v), se dejó macerar durante 2 horas a temperatura ambiente agitándolo en forma permanente, pasándolo luego por papel de filtro (6).

El extracto obtenido se caracterizó mediante análisis de compuestos fenólicos, siguiendo la metodología descrita en el párrafo precedente. El resultado se muestra en la tabla 1 (pág. 215).

Obtención del extracto acuoso de compost inmaduro de orujo de uva agotado

La muestra de orujo de uva agotado, obtenida como subproducto del proceso industrial de destilación del orujo de uva fresco, para la obtención de alcohol y tanino, se dejó secar a temperatura

ambiente, realizando controles de humedad y temperatura.

El compost inmaduro obtenido, se molió en molino de martillos hasta obtener partículas de hasta 1 mm, separando luego las partículas mayores con un tamiz y se preparó el extracto acuoso. Para ello, se agregó 2400 gramos de compost molido a 12000 mL de agua destilada estéril en relación de dilución 2:10 (m/v), se dejó macerar durante 2 horas a temperatura ambiente agitándolo en forma permanente y luego se pasó por papel de filtro (6). Para caracterizar el extracto obtenido, se identificó compuestos fenólicos como fue descrito anteriormente. El resultado se muestra en la tabla 1 (pág. 215).

Diseño experimental

El experimento se desarrolló en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCUYO, Provincia de Mendoza, Argentina. Se evaluó el efecto nematocida de los cuatro extractos acuosos descritos precedentemente. Los tratamientos fueron comparados con fenamifos CS 24% como testigo químico y un testigo absoluto, en plantas de vid de un año (tabla 2).

Los seis tratamientos fueron inoculados con 1000 formas infectivas (huevos y J₂) de *M. incognita* por planta.

A los 10 días de la inoculación y coincidiendo con el inicio de crecimiento de brotes que en promedio alcanzaban los 10 cm de longitud, se agregó a modo de riego, los extractos vegetales y el fenamifos, a las macetas de cada tratamiento.

Tabla 2. Tratamientos ensayados para evaluar la acción nematocida sobre *Meloidogyne incognita* en plantas de vid, cv Chardonnay, inoculadas con 1000 huevos y juveniles de 2° estadio.

Table 2. Treatment trials to evaluate the nematocide action of *Meloidogyne incognita* in grapevines, cv Chardonnay, inoculated with 1,000 eggs and juveniles of 2nd stage.

Tratamientos		Dosis	Volumen aplicado por maceta	Momentos de aplicación	
				1° aplicación	2° aplicación
T 1	Control (agua)	-	400 mL	Con brotes de 10 cm de largo	15 días después de la 1° aplicación
T 2	Extracto acuoso de bulbillos de ajo	25 g/100 mL agua	400 mL	Con brotes de 10 cm de largo	15 días después de la 1° aplicación
T 3	Fenamifos CS 24%	2000 ppm	400 mL	Con brotes de 10 cm de largo	----
T 4	Extracto acuoso de alperujo de aceituna	10 g/100 mL agua	400 mL	Con brotes de 10 cm de largo	15 días después de la 1° aplicación
T 5	Extracto acuoso de orujo de uva fresco	10 g/100 mL agua	400 mL	Con brotes de 10 cm de largo	15 días después de la 1° aplicación
T 6	Extracto acuoso de orujo de uva agotado	20 g/100 mL agua	400 mL	Con brotes de 10 cm de largo	15 días después de la 1° aplicación

Se repitió las aplicaciones de los extractos vegetales a los 15 días.

El diseño estadístico fue en parcelas completamente el azar con diez repeticiones y se realizó análisis de Varianza con comparaciones de media con el test de LSD Fisher, para un alfa de 0,05. Como unidad de análisis se tomó una maceta de 5 L con una planta de vid. El ensayo finalizó 90 días después de las aplicaciones.

Evaluación del efecto nematicida

Para estudiar el efecto nematicida, se evaluó el Índice de Agallamiento en raíz (IA), el Índice de Reproducción (IR) y la población final de hembras en raíz.

Para evaluar el IA, se extrajo la totalidad del sistema radical de cada planta en cada maceta, se eliminó restos de tierra y se observó la presencia y distribución de agallas en las raíces.

De acuerdo con lo observado, se asignó un IA a cada planta (4). Este índice consta de una escala de 11 rangos (de 0=raíces sin nódulos a 10=todas las raíces con nódulos).

Para la evaluación de los IR y población final de hembras, se extrajo los nematodos del suelo y de las raíces. Para extraer los nematodos del suelo, la muestra se procesó mediante la técnica de flotación y centrifugación (22). Para la extracción de nematodos de las raíces, se procedió a un licuado de la raíz completa, previamente trozada y posterior centrifugación (8); en ambos casos los nematodos se recuperaron en tamiz de 325 mesh y colectados en caja de Petri para su recuento. De las raíces, se extrajo hembras, huevos y larvas. Del suelo se extrajo huevos y larvas J_2 .

El IR es el resultado del cociente entre la población final de huevos y larvas (extraídas de las raíces y del suelo) y la Población inoculada de los mismos al inicio del ensayo.

La población final de hembras es la cantidad de hembras en estado globoso, extraídas de la raíz completa en cada planta.

Los recuentos, tanto de huevos, larvas y hembras, se realizó colectando las muestras procesadas en cajas de Petri, observadas bajo lupa estereoscópica binocular (80X) y con la ayuda de un contador manual.

Se evaluó los datos estadísticamente con análisis de Anova y comparación de medias (Test de LSD Fisher, alfa=0,05). La variable IA se transformó con la función raíz cuadrada, la variable IR por la función logaritmo y la variable Población final de hembras por la función Log (x+1) para cumplir con las condiciones de normalidad y homocedasticidad.

RESULTADOS

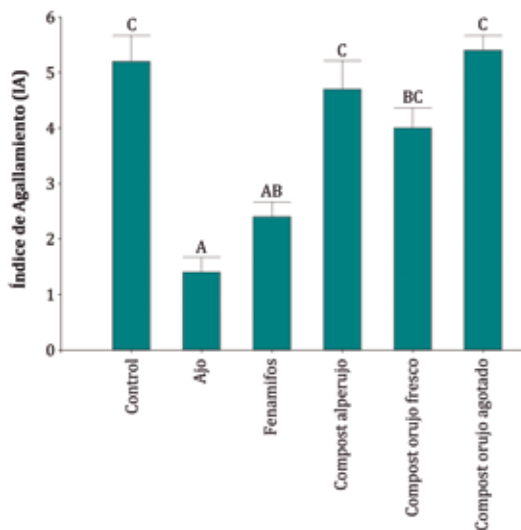
A continuación se presentan los resultados del IA en raíz, IR y de la población Final de hembras. Se presentan los valores promedios obtenidos de las diez repeticiones de cada tratamiento.

Índice de Agallamiento

En la figura 1 (pág. 219), se muestra la media del IA registrado en cada tratamiento al finalizar el ensayo, con el análisis estadístico correspondiente.

El tratamiento con extracto de ajo fue el que presentó un menor IA, con un valor de 1,4, diferenciándose estadísticamente del resto de los tratamientos de extractos vegetales y del tratamiento control. No presentó diferencias estadísticas significativas respecto del tratamiento con fenamifos.

Los tratamientos con extracto de compost inmaduro de orujo fresco, alperujo y orujo agotado, presentaron valores de IA de 4; 4,7 y 5,4 respectivamente, sin diferenciarse estadísticamente entre ellos ni del tratamiento control, que presentó un IA de 5,2.



Tratamientos con distintas letras son significativamente diferentes.

Treatments with different letters are significantly different.

Figura 1. Índice de Agallamiento (IA) de *Meloidogyne incognita* en raíces de plantas de vid cv. Chardonnay inoculadas con 1000 huevos y larvas de 2° estadio, tratadas con distintos extractos vegetales, evaluado a los 90 días de las aplicaciones (media y error estándar). Test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$). DMS=0,30290.

Figure 1. Gall index (AI) of *Meloidogyne incognita* in roots of grape plants cv. Chardonnay inoculated with 1000 eggs and larvae of 2nd stage, treated with different plant extracts, evaluated at 90 days of application (average and standard error). Test de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). DMS=0.30290.

Índice de Reproducción

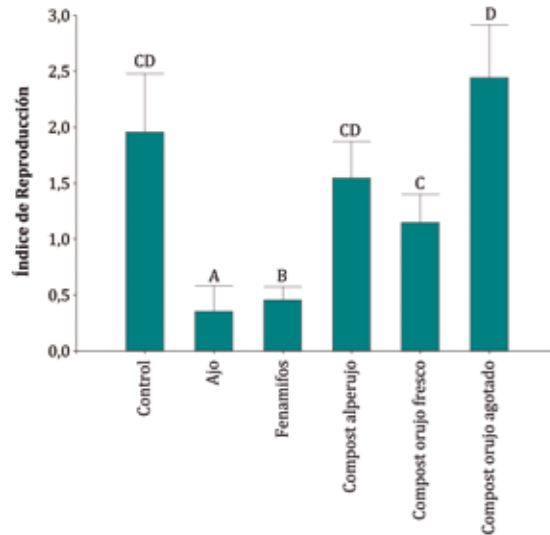
En la figura 2 (pág. 220), se muestra el IR registrado en cada tratamiento y el análisis estadístico respectivo.

Los únicos tratamientos que presentaron una disminución de la población, fueron los tratamientos con extracto de ajo y con fenamifos. El resto de los tratamientos presentaron una población final de formas juveniles, mayor a la inicialmente inoculada.

El tratamiento con extracto de ajo fue el que menor IR mostró, con un valor de 0,35; diferenciándose estadísticamente del resto de los tratamientos, incluso del tratamiento con el nematocida fenamifos (IR=0,45).

Los tratamientos con extracto de compost inmaduro de orujo de uva fresco, alperujo y orujo de uva agotado, registraron valores de IR de 1,15; 1,55 y 2,44 respectivamente, sin diferenciarse estadísticamente del tratamiento control, que presentó un IR de 1,95.

El tratamiento con extracto de compost de orujo de uva fresco se diferenció del tratamiento con extracto de compost de orujo de uva agotado, que presentó el mayor IR.



Tratamientos con distintas letras son significativamente diferentes.

Treatments with different letters are significantly different.

Figura 2. Índice de Reproducción (población final/población inicial de huevos y larvas de 2° estadio de *Meloidogyne incognita*) en plantas de vid cv. Chardonnay, inoculadas con 1000 huevos y larvas de 2° estadio, tratadas con distintos extractos vegetales, evaluado a los 90 días de las aplicaciones (media y error estándar). Test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$). DMS=0,12187.

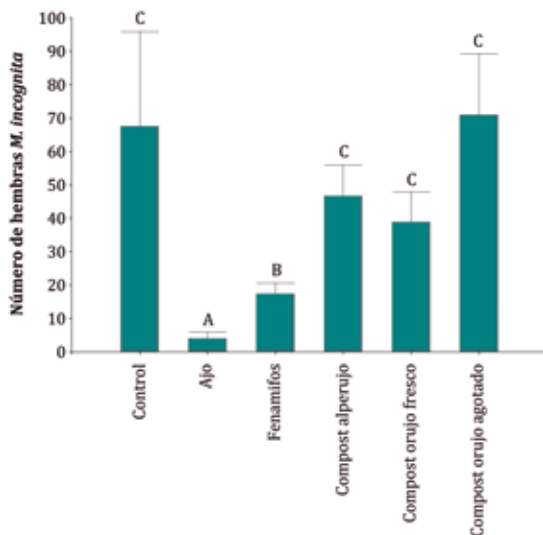
Figure 2. Reproduction Index (final population / initial population of eggs and larvae of 2nd stage of *Meloidogyne incognita*) in vines cv. Chardonnay, inoculated with 1,000 eggs and larvae of 2nd stage, treated with different plant extracts, evaluated at 90 days of application (average and standard error). Test de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). DMS=0.12187.

Población final de hembras en raíz

En la figura 3 (pág. 221), se muestra la población final de hembras globosas registrada en cada tratamiento y el análisis estadístico respectivo.

El tratamiento con extracto de ajo fue el que menor cantidad de hembras presentó, con un valor de 4 hembras por raíz completa, diferenciándose estadísticamente del resto de los tratamientos, incluso del tratamiento con el nematicida fenamifos, el cual mostró 17 hembras.

Los tratamientos con extracto de compost inmaduro de orujo de uva fresco, alperujo y orujo de uva agotado, presentaron valores de 39; 47 y 71 hembras respectivamente, sin diferenciarse estadísticamente entre ellos ni del tratamiento control, el cual registró 68 hembras en raíz.



Tratamientos con distintas letras son significativamente diferentes.

Treatments with different letters are significantly different.

Figura 3. Población final de hembras globosas de *Meloidogyne incognita* en raíz de plantas de vid cv. Chardonnay inoculadas con 1000 huevos y larvas de 2° estadio, tratadas con distintos extractos vegetales, evaluado a los 90 días de las aplicaciones (media y error estándar). Test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$). DMS=0,29189.

Figure 3. Final population of spherical females of *Meloidogyne incognita* in root vine plants cv Chardonnay inoculated with 1000 eggs and larvae of 2nd stage, treated with different plant extracts evaluated at 90 days of application (average and standard error). Test de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). DMS=0.29189.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, son coincidentes con los obtenidos por Aleen Khan S. *et al.* (2) respecto del efecto del extracto de ajo sobre hembras de *M. incognita*, quienes observaron en plantas de tomate una disminución del 67% respecto del testigo, mientras que en este trabajo se observó una reducción de las hembras en torno al 94% en plantas de vid.

Y también son coincidentes estos resultados con los de Martinotti *et al.* (2013) respecto del efecto nematocida del extracto acuoso de bulbillos de ajo

sobre *M. incognita*, quienes observaron en condiciones *in vitro* un 95% de mortandad de larvas J_2 . El experimento que aquí se presenta es la primera cita del efecto nematocida de este extracto sobre *M. incognita* en raíces de *vitis vinífera*, en condiciones *in vivo* y con la identificación y cuantificación de alicina como posible principio activo responsable de esta acción.

El efecto de los extractos de orujo de uva fresco y agotado, presentó coincidencias parciales respecto de lo informado por otros investigadores.

Al igual que Rivera y Aballay (2008), el uso de extracto de orujo de uva fresco disminuyó la tasa de multiplicación (IR) de *M. incognita* aproximadamente un 50% respecto del testigo, en plantas de vid. En este caso, esa diferencia no fue estadísticamente significativa. También se presentan coincidencias con lo observado por Castellanos S. *et al.* (2005) en plantas de tomate, en cuanto a que el extracto de orujo de uva fresco presentó mayor acción sobre *M. incognita* que el extracto de orujo de uva agotado en los parámetros evaluados. Estos autores, obtuvieron con orujo de uva fresco un IA de 2,2; un porcentaje de raíces infestadas menor al 25%; 43,8 J₂ y 9,6 hembras con masas de huevos, en 10 gramos de raíces, mientras que con el extracto de orujo de uva agotado obtuvieron mayores valores de IA (2,6); porcentaje de raíces afectadas (50%), y juveniles y hembras con masas de huevos en 10 gramos de raíces (787,2 y 21,6 respectivamente).

Esta experimentación, el extracto de orujo de uva fresco, obtuvo también mejores resultados que el extracto de orujo de uva agotado, con un IA de 4, un IR de 1,1 y 38,8 hembras globosas por planta en raíz, mientras que con el extracto de orujo agotado estos parámetros fueron mayores, 5,4 (IA), 2,4 (IR) y 70,9 (hembras globosas por planta en raíz). Esta diferencia en la respuesta a los distintos tipos de orujos, pudo deberse a la mayor concentración de polifenoles presentes en el extracto de orujo de uva fresco, tal como se determinó analíticamente (tabla 1, pág. 215).

Por otro lado, una diferencia entre ambos trabajos, fue que en este caso, el efecto observado del extracto de orujo de uva fresco y del extracto de orujo de uva agotado, no se diferenció estadísticamente del tratamiento testigo (control).

Una diferencia metodológica entre ambos trabajos fue que, mientras Castellanos *et al.* (2005) utilizaron orujos de uva sin compostar, en esta investigación se utilizó orujos de uva semi compostado para obtener los extractos. Es posible que las transformaciones que sufrieron los compuestos durante el proceso de compostaje, resulten en una disminución en la concentración y en una pérdida de su acción nematocida. Esta pérdida de acción nematocida también la obtienen Cayuela M. *et al.* (2008), quienes compararon la acción nematocida de un extracto acuoso de alperujo de aceituna sin compostar, con un contenido de 1,3 g.L⁻¹ de polifenoles totales, con un extracto acuoso de compost maduro, de la misma fuente agroindustrial, con 0,19 g.L⁻¹ de polifenoles totales.

Con respecto al extracto de compost de alperujo de aceituna, no se observó el mismo efecto inhibitorio sobre *M. incognita* que informaron Cayuela M. *et al.* (2008) en condiciones *in vitro*. Esto pudo deberse a que en el extracto, se detectó 14,5 ppm de polifenoles totales, de los cuales 9,8 ppm corresponden a flavonoles de procianidina, mientras que el extracto acuoso obtenido por Cayuela M. *et al.* (2008), contenía una concentración 90 veces mayor de polifenoles totales, de 1,3 g.L⁻¹ (1300 ppm).

También Chitwood D. (2002) mencionó que la concentración de polifenoles totales con efectos tóxicos sobre *M. incognita* es de 1100 µg/ml (1100 ppm), y que compuestos fenólicos como los ácidos vanillico, cafeico, syringico, y o-coumárico, son activos a 15 µg/ml (15 ppm).

Por lo expuesto, la falta de acción nematocida que presentaron los extractos de alperujo de aceituna y orujos de uva aquí ensayados, pudo deberse a la baja concentración obtenida de compuestos con actividad tóxica sobre *M. incognita*.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente experimento, el extracto acuoso de bulbillos de ajo, con un contenido de 4 ppm de alicina, presenta acción nematocida sobre *M. incognita* en plantas de vid, cv Chardonnay, en condiciones de cultivo en maceta. Disminuye el Índice de Agallamiento, el Índice de Reproducción de formas juveniles (huevos y J₂), y la población final de hembras de *M. incognita* en raíces de plantas de vid.

Los extractos acuosos de compost inmaduro de alperujo de aceituna, compost inmaduro de orujo de uva fresco y compost inmaduro de orujo de uva agotado, con contenidos de polifenoles

totales de 14 ppm, 17 ppm y 4 ppm respectivamente, no disminuyen el Índice de Agallamiento ni el Índice de Reproducción de *M. incognita* en raíces de plantas de vid.

El efecto nematocida del extracto acuoso de bulbillos de ajo, permite esperar que en el futuro pueda desarrollarse a partir de este material vegetal, un nematocida orgánico, de bajo impacto ambiental y fácilmente disponible en nuestro medio, que reemplace el uso de nematocidas de síntesis, neurotóxicos, de elevada toxicidad y de amplio espectro, confiriéndole al sector vitivinícola mayor sustentabilidad económica, social y ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agbenin, N. O.; Emechebe, A. M.; Marley, P. S.; Akpa, A. D. 2005. Evaluation of nematocidal action of some botanicals on *Meloidogyne incognita* *in vivo* and *in vitro*. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 106(1):29-39.
2. Aleem Khan, S.; Javed, N.; Khan, M. A.; Haq, I. U.; Safdar, A. 2011. Use of plant extracts as bare dip root treatment for the management of *Meloidogyne incognita*. Pakistan Journal of Phytopathology. 23(1): 09-13.
3. Baghalian, K.; Ziai, S.; Naghavi, M.; Badi, H.; Khalighi, A. 2005. Evaluation of allicin content and botanical traits in Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. Scientia Horticulturae. 103: 155-166
4. Bridge, J.; Page, S. L. J. 1980. Estimation of Root-knot Nematode Infestation levels on roots using a rating chart. Tropical Pest Management. 26(3): 296-298.
5. Castellanos, S. J.; del Toro, M. 2005. Comparación de dos enmiendas de suelo a base de orujo de uva en el control de *Meloidogyne incognita* en tomate bajo condiciones de invernáculo. Nematropica. 35(2): 85-86.
6. Cayuela, M.; Millner, P.; Meyer S.; Roig A. 2008. Potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds, fungi, and nematodes. Science of the Total Environment. 399: 11-18.
7. Chitwood, D. 2002. Phytochemical based strategies for nematode control. Annual Review Phytopathology. 40: 221-49.
8. Coyne, D. L.; Nicol, J. M.; Claudius-Cole, B. 2007. Practical plant nematology: a field and laboratory guide. Ed. SP-IMP Secretariat, International Institute of Tropical Agriculture (IITA). Cotonou. Benin.
9. Cristóbal, A. J.; Del Prado, V.; Marbán Mendoza, G. P.; Sánchez, G.; Mora-Aguilera; Manzanilla, L. 2001. Sobrevivencia de estadios biológicos de *Nacobbus aberrans* en condiciones de campo. Nematropica. 31(2):229-235.
10. D' Addabbo, T.; Sanaselli, N. 1998. The suppression of *Meloidogyne incognita* on tomato by grape pomace soil amendments. Nematology Mediterranea. 26: 145-149.

11. del Toro, M. S.; Castellanos, S. J.; Larriqueta, J. E.; Martinotti, M. D. 2009. Manejo de Nematodos en Viñedos. En: II^o Encuentro Ítalo Argentino sobre la producción integrada de los cultivos: vides y vinos. Ed. UNC, UNCUYO e IIC, Mendoza, Argentina. 177-200.
12. Del Valle, E. E.; Doucet, M. E. 2014. Effects of *Galleria mellonella* cadavers infected with *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema rarum*, their macerates and dead infective juveniles on *Meloidogyne javanica* suppression. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza. Argentina. 46(1): 205-211.
13. Fanzone, M. 2012. Caracterización de la composición fenólica de uvas y vinos de la variedad Malbec (*Vitis vinifera* L.): su relación con el origen geográfico, factores vitivinícolas y valor comercial. Tesis Doctoral. Universidad Rovira I Virgili. Tarragona, España. URL <http://www.tdx.cat>
14. González, R., Camargo, A.; Burba, J. 2007. Obtención de un estándar secundario de cuantificación para la síntesis y purificación de allicina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 39(2): 61-70.
15. Martinotti, M. D.; Castellanos S. J.; del Toro, M. S. 2013. Susceptibilidad *in vitro* de *Meloidogyne incognita* a extractos acuosos de material vegetal. Nematropica. 43(2): 309-310.
16. Official Journal of the European Union. 2011. Commission Regulation (UE) N^o 559/2011. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1434133164511&uri=CELEX:32011R0559> (fecha de consulta: 10/03/2014).
17. Oka, Y.; Nacar, S.; Putievsky, E.; Ravid, U.; Yaniv, Z.; Spiegel, Y. 2000. New strategies for the control of plant-parasitic nematodes. Pest Management Science. 56: 983-988.
18. Renčo, M. 2013. Organic amendments of soil as useful tools of plant parasitic nematodes control. Helminthologia. 50(1): 3-14.
19. Rivera L.; Aballay E. 2008. Nematicide effect of various organic soil amendments on *Meloidogyne ethiopica* Whitehead, 1968, on potted vine plants. Chilean Journal of Agricultural Research. 68(3): 290-296.
20. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Resolución 122/2010. Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=1447&io=12300> (fecha de consulta: 10/04/2014).
21. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Resolución 934/2010. Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=1501&ino=1501&io=15900> (fecha de consulta: 21/04/2014).
22. Zuckerman, B. M.; Mai, W. F.; Harrison, M. B. 1985. En: Fitonematología Manual de laboratorio. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

AGRADECIMIENTOS

A todos los integrantes de la cátedra de Terapéutica Vegetal de la FCA-UNCuyo.
A Jorge E. Perez Peña, Coordinador de Investigación de la EEA INTA Mendoza .

Estabilización tartárica en vinos: comparación entre electrodiálisis y tratamiento de frío por contacto

Tartaric stabilization of wines: comparison between electrolysis and cold by contact

Silvia Violeta Corti ¹, Silvia Cristina Paladino ²

Originales: *Recepción*: 22/07/2015 - *Aceptación*: 17/11/2015

RESUMEN

El vino debe estabilizarse respecto de las precipitaciones del bitartrato de potasio. Uno de los métodos de estabilización más empleado es la formación del precipitado por efecto del frío con siembra de cristales. Este método tiene un alto costo. La estabilización por electrodiálisis es un método alternativo, que consiste en eliminar el catión potasio, por medio de una membrana selectiva y un campo eléctrico, y así se impide la precipitación del bitartrato de potasio. El objetivo de este trabajo fue determinar si los vinos estabilizados mediante el tratamiento de frío por método de contacto difieren de los vinos estabilizados por electrodiálisis en cuanto a sus características físico-químicas y organolépticas. Se realizaron dos ensayos a nivel industrial: uno con 4 vinos blancos y otro con 3 vinos tintos. Todos los vinos se estabilizaron mediante tratamiento de frío por método de contacto (FMC) y por electrodiálisis (ED). El diseño estadístico fue bloques completos al azar. Los vinos blancos estabilizados por ED presentaron menores concentraciones de Ca^{+2} y Mg^{+2} que los FMC. Los vinos estabilizados por FMC contuvieron menos K^+ que los vinos estabilizados por ED. Los vinos tintos estabilizados por FMC presentaron menor contenido de SO_2 libre que los tratados con ED. Un panel de degustadores no encontró diferencias entre ambos tratamientos en vinos blancos, ni en tintos. Es posible reemplazar el tratamiento de estabilización tartárica FMC por ED. Se producen mínimas modificaciones de las características físico-químicas de los vinos, pero estos cambios no son detectados por medio del análisis organoléptico.

Palabras clave

vino • estabilidad tartárica • bitartrato de potasio • electrodiálisis • frío por método de contacto

1 Bodega Argento Wines, Mendoza, Argentina. Silvia.Corti@bodegaargento.com

2 Cátedra de Enología I, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB.

ABSTRACT

Wine has to be stabilized in respect of potassium bitartrate precipitations. One of the most used methods of stabilization is the precipitate formation as a result of cold with crystal seeding. This method implies an elevated cost. The stabilization by electro-dialysis may be an alternative, which consists in removing the potassium cation, through a selective membrane and an electric field, so as to prevent the precipitation of potassium bitartrate. The purpose of this project was to determine if wines stabilized with respect to tartaric precipitations through cold stabilization by contact process are different from wines stabilized by electro-dialysis, concerning their physics-chemical and organoleptic characteristics. Two industrial tests were carried out: one of them included 4 white wines and the other with 3 red wines. All wines were stabilized by cold stabilization by contact process (FMC in Spanish) and electro-dialysis (ED). The tests were conducted using a randomized block statistical design. The white wines stabilized by ED have lower concentrations of Ca^{+2} and Mg^{+2} than those stabilized by FMC. The wines stabilized by FMC contain less K^+ than the wines stabilized by ED. The red wines stabilized by FMC have lower concentrations of free SO_2 . A panel of tasters found no difference between both treatments, neither in white wines nor in red wines. Therefore, it is possible to replace the tartaric stabilization by contact process (FMC) with ED. Although minimum changes are produced in the physics-chemical characteristics of wines, these changes are not detected by means of the organoleptic analysis.

Keywords

wine • tartaric stability • potassium bitartrate • electro-dialysis • cold by contact

INTRODUCCIÓN

El vino es una solución sobresaturada de bitartrato de potasio $\text{KHC}_4\text{H}_6\text{O}_6$ (KTH); en determinadas condiciones, este compuesto precipita. El bitartrato de potasio así como el tartrato de calcio, son sales que se presentan naturalmente en el mosto de uva en niveles de saturación. Cuando el mosto se transforma en vino, estas sales se tornan más insolubles por la presencia del etanol y la conservación a bajas temperaturas, por lo que precipitan (2).

El vino se consume para experimentar placer. Las sensaciones placenteras causadas por la bebida comienzan por el aspecto, por ello el producto debe estar en perfectas condiciones de color, limpidez y brillo.

Antiguamente el precipitado de bitartrato de potasio en la botella de vino era considerado propio del producto.

En la actualidad, el consumidor exige vinos límpidos y brillantes, por lo que la presencia de cristales o cualquier depósito en una botella es motivo de rechazo. Los consumidores suelen confundir los precipitados de bitartrato de potasio con problemas microbiológicos, aditivos químicos o restos de vidrio.

Debido a esta situación de inestabilidad físico-química natural de los vinos, surge la necesidad de estabilizar el producto antes de ser despachado al consumo.

Los vinos blancos y rosados, así como los tintos del año, deben ser estabilizados antes de ser liberados al mercado, ya que no alcanzan la estabilidad en forma natural.

Los vinos tintos de crianza pasan al menos un invierno en la bodega, se estabilizan naturalmente y no necesitan de procesos industriales para evitar que el exceso de bitartrato de potasio precipite en la botella.

Existen diferentes enfoques para lograr la estabilización tartárica: hay métodos que impiden la precipitación y otros que la favorecen. Si se desea impedir la precipitación, se pueden emplear inhibidores químicos (ácido metartárico, carboximetilcelulosa, manoproteínas) o métodos físicos que eliminan iones del vino (electrodiálisis, resinas de intercambio iónico, ósmosis inversa, nanofiltración).

Si se decide provocar la precipitación, se puede usar la estabilización por frío con estabulación larga, que solo enfría el vino para provocar una disminución de solubilidad, o la estabilización por frío, método de contacto con estabulación corta (FMC), el cual favorece la precipitación por el contacto con núcleos de cristalización de bitartrato de potasio y el uso de temperaturas entre 0 a -4°C.

La estabilización por frío método de contacto con estabulación corta (FMC) permite un mejor aprovechamiento de la capacidad frigorífica instalada, que de otro modo solo se emplea al máximo durante la época de fermentación. Este proceso se realiza generalmente en invierno, cuando la capacidad de frío está ociosa. Pero la estabilización del vino se logra con un gran gasto energético y de mano de obra (4, 7, 14); la capacidad de generación de frío es limitante, así como la disponibilidad de los contenedores

preparados para realizar el tratamiento y estacionar el producto. Se debe disponer de un filtro al momento de terminar el tratamiento; es un método discontinuo y lento; la extracción de Ca^{+2} es mínima (5, 9); se elimina potasio y acidez en ácido tartárico: por cada unidad de K^+ , se pierden dos unidades de ácido tartárico (5, 17, 23).

La cantidad de KTH que elimina este método es fija (11); provoca una pérdida de color y afecta el patrimonio coloidal (9, 26); la limpieza de los tanques empleados para el tratamiento es difícil y de alto costo.

La electrodiálisis (ED) es una tecnología que permite extraer iones de una solución, a través de membranas selectivas de intercambio iónico, sometidas a la influencia de un campo eléctrico (5, 8).

El mecanismo de separación es función de la potencia del campo eléctrico y de la carga de electrolitos. Las membranas se disponen a modo de filtro prensa, determinando compartimentos. Por algunos de estos circula el vino y por otros circula el agua que recibe los electrolitos que pasan a través de las membranas.

La selección de las membranas debe hacerse considerando que los siguientes parámetros analíticos no deben modificarse más que la tolerancia aceptada por la legislación: la disminución máxima de alcohol no debe ser superior a 0,1% v/v a 20°C; el pH no debe modificarse en más de 0,25 unidades; la modificación de la acidez volátil no debe superar 0,15 g/L, expresado en ácido acético.

A diferencia de las resinas de intercambio iónico, en la ED la superficie de contacto con el vino es menor. Por ello se evita la adsorción de moléculas orgánicas, preservando las propiedades organolépticas del vino (6, 11).

En la ED, el K^+ es el que catión que más intensamente migra; el descenso de su concentración en el vino está correlacionado con una caída de la conductividad eléctrica (17, 23).

Los tenores de Na^+ , Fe^{+3} y Cu^{+2} disminuyen ligeramente, el Ca^{+2} también sufre una caída de concentración. Estos cationes migran a menor velocidad que el K^+ . El pH sufre una pequeña modificación.

El anión bitartrato (KT) es el que disminuye más intensamente, aunque el ácido málico y acético también disminuyen en menor medida (5, 11). Para algunos autores, la acidez volátil y el grado alcohólico no suelen ser modificados por esta técnica (7, 9), pero para la empresa productora del equipo Juclas-Beverage System Vason Group (2010), se produce una ligera disminución del grado alcohólico, lo que puede ser importante en vinos de baja gama.

El color y las catequinas se conservan, ya que la electrodiálisis no desnaturaliza los coloides (9, 23). Es necesario trabajar con vinos clarificados, estables ante los prótidos y filtrados para no colmatar las membranas (14). Por ello se debe centrifugar o realizar una filtración tangencial previamente. No se debe utilizar filtraciones con celulosa o harina fósil (diatomeas) luego de la electrodiálisis, porque pueden provocar una pérdida parcial de la estabilidad debido al aporte de Ca^{+2} y Na^+ . Es importante agregar SO_2 al vino antes del tratamiento por ED (15 o 20 mg/l) porque durante la separación de iones se pierden fracciones de iones sulfuroso, como SO_2 libre (7).

Luego de la electrodiálisis, el vino está listo para embotellar. Debe considerarse que la adquisición de una

máquina de electrodiálisis requiere una fuerte inversión inicial, los reactores o membranas del equipo tienen una vida útil limitada y un costo elevado. Aún el alquiler del equipo es relativamente elevado (2,5 euros/hl). También se requiere personal especializado para su manejo.

Dado que existe muy escasa información, a nivel internacional, acerca de las modificaciones físico-químicas y organolépticas en vinos estabilizados por electrodiálisis y que no existen estudios locales que comparen ambos métodos respecto de los cambios que se producen en los vinos tratados, es necesario comparar estos métodos de estabilización tartárica de vinos, y evaluar la posibilidad de sustituir un método por el otro.

Hipótesis

Es posible sustituir la estabilización tartárica por frío método de contacto de un vino por la estabilización por electrodiálisis, sin que un panel de degustadores detecte diferencias, ya que las características físico-químicas y organolépticas del vino no serán modificadas significativamente.

Objetivos

Determinar si los vinos estabilizados respecto de las precipitaciones tartáricas por tratamiento de frío método de contacto difieren de los vinos estabilizados por electrodiálisis en cuanto a sus características físico-químicas y organolépticas.

Establecer si un panel de degustadores es capaz de detectar diferencias entre los vinos estabilizados por ambos métodos y si pueden definir una preferencia por alguno de ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos en una bodega, a escala industrial, uno con vinos blancos y otro con vinos tintos. Luego del ensayo los vinos fueron comercializados.

Vinos blancos

Los tratamientos fueron: estabilización por frío método de contacto (FMC) y estabilización por electrodiálisis (ED). El diseño estadístico fue bloques completos al azar. Los bloques fueron: Vino blanco Genérico (VB Genérico), vino blanco Sauvignon Blanc (VB SB), Vino blanco Chardonnay (VB CHY) y Vino blanco Pinot Grigio (VB PG), cada uno ubicado en tanques de 150.000 litros.

La unidad experimental fue cada tanque de vino que se estabilizó, 25.000L en el caso de la estabilización por frío y 10.500L en el caso de la electrodiálisis. La unidad de análisis fue cada botella perteneciente a los diferentes tratamientos, sobre las que se efectuaron los análisis y degustaciones.

Elaboración de los vinos blancos

Las uvas se produjeron en la provincia de Mendoza, Argentina y los vinos fueron elaborados en Junín, Mendoza, Argentina. Las uvas blancas fueron descobajadas, se agregó en el lagar 7g/hL de dióxido de azufre (SO₂), luego fueron molidas y prensadas.

El mosto se desborró estáticamente mediante frío y enzimas pectolíticas hasta 50-100 NTU dependiendo de la variedad. Las fermentaciones se realizaron entre 14-16°C con levaduras seleccionadas previo ajuste de la acidez total con ácido tartárico (1,2 g/L para PG y CHY, 1,5 g/L para el blanco genérico y 2 g/L el Sauvignon Blanc).

Desde la segunda mitad de la fermentación se realizó battonages diarios (removido de las borras), incluso luego de terminada la fermentación alcohólica durante 5 a 30 días dependiendo la variedad.

En el vino blanco Chardonnay se realizó fermentación maloláctica a un 15% del corte.

Todos los vinos blancos fueron estabilizados respecto de prótidos con bentonita, trasegados y liberados de sus borras antes de comenzar los tratamientos de estabilización tartárica, previa corrección del SO₂ libre a 30-35 ppm. De este modo, luego de estos tratamientos, los vinos quedaron listos para ser despachados al mercado.

Vinos tintos

Los tratamientos fueron: estabilización por frío método de contacto y estabilización por electrodiálisis.

El diseño fue bloques completos al azar. Los bloques fueron: Vino tinto Genérico (VT Genérico), Vino tinto Cabernet Sauvignon (VT CS), Vino tinto Syrah (VT SY), cada uno ubicado en tanques de 150.000L.

La unidad experimental fue cada tanque de vino que se estabilizó, 25.000L en el caso de la estabilización por frío y 10.500L en el caso de la electrodiálisis. La unidad de análisis fue cada botella perteneciente a los diferentes tratamientos, sobre las que se efectuaron los análisis y degustaciones.

Elaboración de los vinos tintos

Las uvas se produjeron en la provincia de Mendoza, Argentina y los vinos fueron elaborados en Junín, Mendoza, Argentina. Las uvas tintas fueron descobajadas y adicionadas de 5 g/hL de dióxido de azufre (SO₂) en el lagar.

Se procedió a la molienda de las mismas y posteriormente se corrigieron los mostos con 1 g/L de ácido tartárico.

Se fermentaron entre 25-28°C con levaduras seleccionadas y con el agregado de 2 g/L de chips de roble americano y francés. La maceración post-fermentativa duró 1 día en el caso del tinto genérico hasta 7 a 10 días en los varietales. La fermentación maloláctica fue realizada en presencia de chips de roble americano y francés, luego los vinos fueron trasegados de sus borras y realizados los cortes. Posteriormente se realizó la estabilización tartárica de los mismos, previa corrección del SO₂ libre a 30-35 ppm.

Tecnología aplicada

Tratamiento de frío por contacto

Se utilizaron tanques de 25.000 L equipados con doble camisa por la que circuló una solución de propilenglicol, a -8°C.

Los tanques estaban equipados con agitadores a fin de homogeneizar la temperatura y facilitar la nucleación.

En los vinos blancos, se llevó el vino hasta 0°C, se hizo la siembra de cristales y se mantuvo en agitación hasta -2°C, a partir de allí el tratamiento se controló hasta que se obtuvo la estabilidad. En ese momento se suspendió la agitación y se filtró para separar los cristales.

En el caso de vinos tintos se llevó el vino a 0°C y se mantuvo en agitación a esa temperatura, controlando el tratamiento hasta que se obtuvo la estabilidad, en ese momento se suspendió la agitación y se filtró para separar los cristales. En ambos tipos de vino, se filtró con un filtro tangencial marca Della Toffola, CFKN/170, con 170 m² de superficie filtrante, con membrana inorgánica de cerámica, tubular. Se corrigió la acidez total con ácido tartárico en forma previa a

la estabilización por frío, para equiparar la caída de acidez total que sufre este tratamiento y asemejar a la electrodiálisis, que no sufre esta pérdida.

Los vinos blancos Chardonnay, Genérico y Pinot Grigio fueron corregidos con 0,5 g/L de ácido tartárico, mientras que el vino Sauvignon Blanc fue adicionado con 0,1 g/L de ácido tartárico.

Los vinos tintos fueron corregidos con ácido tartárico, agregándose 0,4 g/L al tinto genérico, 0,2 g/L al Cabernet Sauvignon y 0,5 g/L al Syrah.

Electrodiálisis

Se realizó con una máquina Juclas Modelo ED15, de 15 hL/h y gestión semiautomática, constituida por 150 membranas aniónicas y 150 membranas catiónicas, 301 celdas, 30m², ensambladas a presión, con espaciadores que separan las membranas entre 0,3 y 2 mm. El volumen tratado en la electrodiálisis fue en cada bloque de 10.500 L.

Se trabajó con un grado de deionización de: 21 a 23% en vinos blancos y 16 a 18% en vinos tintos. Esto fue determinado previamente a los tratamientos por el test de minicontacto de la máquina de electrodiálisis. Los vinos tratados por ED se filtraron con un filtro tangencial marca Della Toffola, CFKN/170, con 170 m² de superficie filtrante, con membrana inorgánica de cerámica, tubular. Esta filtración previa al tratamiento es necesaria porque las membranas selectivamente permeables requieren vinos con bajo índice de filtrabilidad, para evitar el entarquinado.

Se minimizó la incorporación de oxígeno (O₂) en los vinos, empleando dióxido de carbono (CO₂) para inertizar cañerías y tanques, así como nitrógeno (N₂) en los movimientos de vinos, acompañando la vena líquida.

Se estableció como límite máximo 1 ppm de oxígeno disuelto en los vinos, luego de cada movimiento.

Análisis físico-químico

En todos los vinos se midieron las siguientes variables: acidez total, pH, alcohol, SO₂ Libre y SO₂Total, extracto seco, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe³⁺, Cu²⁺, ácido tartárico, velocidad de oxidación, poder tampón, conductividad a 25°C y prueba de diagnóstico de estabilidad tartárica (conservación durante 14 días a una temperatura de -4°C). Además, en vinos tintos, se midió las siguientes variables: Intensidad colorante (IC), matiz e Índice de polifenoles totales (IPT) (3, 14, 16, 22, 24).

Análisis organoléptico

Se realizó una degustación previa y se seleccionan atributos a cuantificar en vinos blancos y en vinos tintos, para establecer un perfil sensorial por el método multidimensional (21).

En el caso de los vinos blancos se seleccionaron 12 descriptores y en el caso de los vinos tintos, 14 descriptores.

Se convocó a un jurado de 20 degustadores para realizar el análisis organoléptico de los ensayos. Se realizó una degustación donde se utilizó una prueba de comparación de a pares (comparación pareada simple).

Se degustaron los tratamientos por bloque, a ciegas, en un test dúo-trío con referencia balanceada (13, 18).

Para cada puesto de degustación, en el centro se ubicó la copa de referencia, se pidió a los degustadores que identificaran la copa idéntica a la referencia.

Para el orden de servicio (para cada degustador) se utilizó un modelo de aleatorización, obtenido mediante sorteo. Los datos se analizaron utilizando la tabla

del número mínimo de aciertos (13, 25). De este modo, se verificó si existían diferencias entre los tratamientos. Para explorar cuáles eran las diferencias, se realizó la degustación descriptiva cuantificando los atributos previamente seleccionados.

Se les pidió a los degustadores que cuantificaran cada atributo o variable, considerando que las mismas se pueden modelar como variables aleatorias continuas (21).

Cada juez degustó cuatro (4) bloques con dos (2) tratamientos, es decir, un total de ocho (8) vinos blancos; y tres (3) bloques con dos (2) tratamientos, un total de seis (6) vinos tintos.

En cada vino, se cuantificó los descriptores seleccionados. Con estos datos se construyó una matriz y se realizó un análisis multivariado, método de los componentes principales y se reunieron las variables que explican la diferencia entre vinos.

Posteriormente, los degustadores efectuaron un Test de Preferencia, de cada par de muestras de la degustación descriptiva correspondiente a dos tratamientos de un mismo bloque, se les pidió que seleccionaran el preferido (19, 20).

Procesamiento estadístico de los datos

Análisis físico-químico

Para cada variable se compararon las medias de los tratamientos y de los bloques mediante el Análisis de la Varianza (ANOVA), utilizando la prueba de Tukey para un error $p \leq 0,05$ o una confianza del 95%, con la que se determinó la existencia de diferencias significativas; previa verificación de cumplimiento de los supuestos de independencia, normalidad de los residuos y homogeneidad de varianza u homocedasticidad.

En el caso de variables que no cumplieron con los supuestos del ANOVA, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Para la evaluación del cumplimiento de los supuestos de ANOVA se utilizó el programa Statistica 6.0 Copyright Stat Soft, INC: 1984-2001. OK.USA.

Para el análisis de comparación de medias y de medianas así como para el análisis de los componentes principales, se utilizó el programa Statgraphics plus ^(C) 4.0.copyright 1999 by Statistical Graphics Corp.USA.

RESULTADOS

Vinos blancos

No existen diferencias significativas entre los tratamientos de estabilización

tartárica FMC y ED, para los contenidos de: alcohol, acidez total, pH, SO₂ Libre, SO₂ Total, extracto seco, Fe⁺³, Cu⁺², ácido tartárico, conductividad a 25°C, poder tampón y velocidad de oxidación (tabla 1).

Existen diferencias significativas en la concentración de los cationes K⁺, Ca⁺² y Mg⁺² entre ambos tratamientos.

Los vinos estabilizados por FMC presentan menores concentraciones de catión K⁺ luego del tratamiento. Los vinos estabilizados por ED presentan menores concentraciones de cationes Ca⁺² y Mg⁺² luego del tratamiento.

Un panel de degustadores no detectó diferencias organolépticas significativas ni preferencias entre ambos tratamientos, para los vinos blancos ensayados.

Tabla 1. Contenido de K⁺, Ca⁺² y Mg⁺² en vinos blancos.

Table1. K⁺, Ca⁺² and Mg⁺² content in white wines.

	K ⁺ mg/L	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L
Tratamientos			
ED	712 a*	47,0 a*	42,75 a*
FMC	585,8 b	74,5 b	66,25 b
Valor p	0,0013	0,0014	0,0089
Bloques			
Chardonnay	701,5 a	59,5 ab	59,5 a
Blanco genérico	626,0 b	68,5 a	46,5 a
Pinot Grigio	703,0 a	51,0 b	64,5 a
Sauvignon Blanc	565,0 b	64,0 ab	47,5 a
Valor p	0,0066	0,0471	0,1017

Los datos corresponden a las medias de los contenidos de los diferentes cationes.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias empleando la prueba de Tukey (p < 0,05)

ED: Estabilización por electrodiálisis. FMC: Estabilización por frío método de contacto

Data are the means of different cations content

*Different letters point to significant differences according to Tukey test (p<0.05)

ED: Electrolysis stabilization. FMC: Cold stabilization

Vinos tintos

No existen diferencias significativas entre los tratamientos de estabilización tartárica FMC y ED, para las variables: alcohol, acidez total, pH, SO_2T , extracto, Fe^{+3} , Cu^{+2} , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , ácido tartárico, conductividad a 25°C , Intensidad Colorante, matiz, Índice de Polifenoles totales, poder tampón ni velocidad de oxidación (tabla 1, pág. 232).

Se analizaron los datos de SO_2 Libre correspondientes a los distintos bloques para verificar el cumplimiento de los supuestos de ANOVA; dado que no hay homocedasticidad u homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para tratamientos y para bloques.

Existen diferencias significativas entre ambos tratamientos de estabilización tartárica, para el contenido de SO_2 Libre, lo cual puede deberse a un error experimental y no al tratamiento

en sí, pues se detecta en un solo bloque y tratamiento.

El panel de degustadores no encontró diferencias organolépticas significativas ni preferencias entre ambos tratamientos, para los vinos tintos ensayados (tabla 1, pág. 232).

DISCUSIÓN

Vinos blancos

El método de estabilización tartárica por medio del frío implica disminuir la temperatura hasta conseguir la precipitación del bitartrato de potasio, debido a la disminución de la solubilidad de esta sal. Esto explica la disminución de la concentración de K^+ en los vinos estabilizados por frío. Estos resultados son coherentes con parte de la bibliografía (5, 17, 23).

Tabla 2. Contenidos de SO_2 Libre en vinos tintos.

Table 2. Free SO_2 content in red wines.

Tratamientos	SO_2 libre mg/L
ED	30 a
FMC	28 b
Valor-p	0,0431
Bloques	
Tinto genérico	29 a
Syrah	29 a
Cabernet Sauvignon	25 a
Valor p	1,0000

Los datos corresponden a las medianas de los contenidos de SO_2 Libre.

*Letras diferentes indican que existen diferencias entre las medianas.

ED: Estabilización por electrodiálisis. FMC: Estabilización por frío método de contacto.

Data are the medians of free SO_2 content.

*Different letters point to significant differences between medians.

ED: Electrolysis stabilization FMC: Cold stabilization.

Sin embargo, Gómez Benítez *et al.* (a) (2003), verificaron que el tratamiento FMC produce una considerable pérdida de los niveles de K^+ en los vinos sherry fino y medium, pero en los vinos sherry cream, la electrodiálisis provoca mayor descenso del contenido de K^+ que el tratamiento FMC. Este tipo de vino tiene una composición particular, ya que contiene de 115 a 140 g/L de azúcar, y un grado alcohólico entre 15,5 y 22%. Este alto contenido de azúcares puede dificultar la precipitación del bitartrato de potasio (1).

Los vinos estabilizados por ED presentan menores concentraciones de cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} . Esta pérdida de cationes ha sido registrada por otros autores (5, 9).

La estabilización tartárica por FMC provoca una caída de la acidez total, que puede llegar a 1,3 g/L en Sauvignon blanc (3).

En vinos sherry y en vinos australianos, se ha comprobado que la acidez total sufre una mayor caída en vinos estabilizados por FMC, con respecto a aquellos estabilizados por ED (7, 9). Como este ensayo se realizó en condiciones industriales, con vinos que fueron comercializados, la acidez total fue corregida en forma previa al tratamiento de FMC. Esta práctica es habitual en bodega, tiene por objeto compensar la acidez perdida por la precipitación de bitartrato de potasio.

En cada uno de los vinos se evaluó experimentalmente el descenso de la acidez total producido por el tratamiento FMC.

Sobre la base de los datos obtenidos, se efectuaron las correcciones con ácido tartárico, en forma previa al tratamiento FMC. En la estabilización por ED, la acidez total disminuyó aproximadamente 0,40 g/L, en promedio.

En el tratamiento FMC, el descenso promedio fue 0,68 g/L. Pero si se considera

la corrección efectuada previa a FMC, se ha perdido en promedio 1,07 g/L en este tratamiento. Estos datos indicarían que la estabilización tartárica de los vinos por medio de la electrodiálisis permitiría un ahorro de ácido tartárico, ya que los vinos estabilizados por este medio no necesitarían ajuste de la acidez total en forma previa al tratamiento de estabilización. Se trató de evitar la creación de una diferencia artificial en una variable como consecuencia del tratamiento.

La acidez total es un atributo que causa grandes diferencias a nivel organoléptico. En vinos excesivamente ácidos, el bajo pH puede inducir la precipitación de las glucoproteínas de la saliva, provocando la sensación de astringencia (12). En este ensayo, no se verificaron diferencias significativas entre las medias del pH, para los tratamientos ED y FMC. Sin embargo, en los vinos Sherry se cita una mayor caída del pH luego del tratamiento de FMC.

En otros casos, como en vinos australianos, la ED provocó una mayor caída del pH (7, 9).

No existen diferencias significativas entre los niveles de SO_2 libre de los vinos blancos estabilizados por ED y FMC.

Si bien, en vinos sherry se determinó que no existían diferencias en el contenido de SO_2 para los tratamientos de ED y FMC, en vinos australianos se ha probado que el SO_2 libre disminuye más intensamente en la estabilización por ED, que en el tratamiento por FMC (7, 9).

Cuando un vino se oxida aumenta la absorbancia a 420 nm (24). Dado que en la estabilización por FMC se trabajó con temperaturas de $-2^\circ C$ en los vinos blancos, podría producirse una mayor disolución de oxígeno (O_2) en el vino, ya que la solubilidad de los gases en los líquidos es inversamente proporcional a la temperatura.

Un mayor contenido de oxígeno disuelto, podría generar condiciones para una oxidación acelerada del producto.

De acuerdo con los resultados de este ensayo, no existen diferencias en la velocidad de oxidación de los vinos estabilizados por FMC y ED.

Es posible que la oxidación haya sido controlada por la acción reductora del nivel de SO_2 L aplicado a los vinos y por la protección de las buenas prácticas de las operaciones de bodega. Existen diferencias significativas entre bloques, empleando la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

El vino blanco Sauvignon Blanc tiende a oxidarse a velocidad mayor, que los otros tres vinos. La diferencia entre bloques puede deberse a las diferencias propias de composición de cada uno de los vinos, que hace que sean más o menos resistentes a la oxidación.

Los degustadores no pudieron diferenciar los vinos de acuerdo con el tratamiento de estabilización tartárica empleado, coincidente con la bibliografía para vinos portugueses y para vinos de San Giuliano (5, 11)d.

Los degustadores tampoco pudieron determinar una preferencia entre los tratamientos, si bien en la bibliografía se menciona que en el caso de los vinos sherry, el tratamiento de FMC fue el preferido al tratamiento ED (9).

Vinos tintos

Algunos de los resultados son coherentes con la bibliografía, la cual indica que la estabilización por ED no modifica sensiblemente el grado alcohólico del vino (7, 9, 11), ni la conductividad eléctrica (5).

Otros resultados no concuerdan.

En cuanto al contenido de catión K^+ , no existen diferencias significativas entre las

medias de los tratamientos de ED y FMC. Este resultado no coincide con lo que ocurre en vinos franceses, portugueses y vinos sherry (5, 9, 17, 23), donde el FMC reduce los contenidos de K^+ más intensamente que la ED. Esta diferencia podría explicarse debido al efecto inhibitorio de la nucleación y crecimiento de cristales de KHT que ejercen los polisacáridos y polifenoles de los vinos tintos como la rhamnogalacturonasa (26). Esta posibilidad debería validarse en forma experimental.

Además, el pH de los vinos tintos mendocinos es mayor que en los vinos portugueses y franceses, esto es consecuencia de mayores contenidos de potasio. Algo similar ocurre con el catión Ca^{+2} , donde no se registraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de ED y FMC. Este resultado no es coherente con la bibliografía de vinos portugueses y vinos sherry (5, 10) donde la ED es el método que disminuye más intensamente el contenido de este catión.

En cuanto al catión Mg^{+2} , no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de ED y FMC en vinos tintos. Este resultado no concuerda con la bibliografía sobre vinos portugueses y vinos sherry (5, 9), donde la ED es el método que disminuye más intensamente el contenido de este catión.

No existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de ED y FMC para la Intensidad Colorante (IC) en vinos tintos. Esto no concuerda con la bibliografía: en vinos portugueses, la intensidad colorante presenta una mayor caída en los vinos estabilizados por FMC que en los tratados con ED (9).

Nuevamente se plantea la necesidad de comparar estos tratamientos en vinos de diferentes regiones, con características analíticas diferentes.

El elevado pH de los vinos tintos mendocinos, en comparación con los vinos portugueses y franceses, podría marcar la diferencia. Esta posibilidad debería validarse en forma experimental. Existen diferencias significativas entre bloques de vinos tintos para la IC, el tinto genérico es el que menor intensidad colorante posee, mientras que los vinos Syrah y Cabernet Sauvignon son los que presentan valores mayores. Estas diferencias se deben a que los bloques están integrados por vinos distintos, con características analíticas diferentes.

Los resultados muestran un mayor contenido de SO_2 libre en los vinos estabilizados con ED, que en aquellos vinos tratados con FMC, esto se corresponde con la bibliografía (15).

Cuando se comparan los tratamientos FMC y ED, se observa que las medianas del SO_2 libre de los tratamientos fueron significativamente diferentes.

Se utilizó la prueba de comparación de medianas, para la prueba de Kruskal Wallis, con un 95% de confianza. Estos resultados no coinciden con los encontrados en vinos portugueses, donde la diferencia del SO_2 L entre tratamientos es pequeña y despreciable (9).

En vinos australianos (7), se observan valores levemente menores de SO_2 libre luego del tratamiento de ED, contrariamente a lo obtenido en este ensayo, donde se registraron menores valores de SO_2 libre en el tratamiento FMC.

Si se analizan los resultados se observa que hay un solo dato que marca la diferencia, es el SO_2 L en vino tinto Cabernet Sauvignon estabilizado por FMC el cual arroja un valor muy bajo. Esta diferencia podría deberse a un error de laboratorio o de conservación de la muestra hasta el análisis.

El SO_2 L es una variable que disminuye básicamente con la oxidación de los vinos.

Dado que en los vinos existe un equilibrio dinámico entre los contenidos SO_2 L y SO_2 T, regulado por el pH y la temperatura, no es el SO_2 L una variable fundamental a considerar en la comparación de estos tratamientos. Esta caída del SO_2 L en el tratamiento FMC podría estar relacionada a las operaciones de movimiento de vino en la bodega para su ejecución. Sin embargo, dichas operaciones se han efectuado mediante buenas prácticas de manufactura, controlando la incorporación de oxígeno en cada operación.

No existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de ED y FMC para el SO_2 total en tintos. Estos resultados coinciden con los encontrados en vinos portugueses (9). Sin embargo, en vinos australianos se cita que la ED produce una mayor caída del SO_2 T que la estabilización tartárica por FMC (7).

Si bien la bibliografía sostiene que el tratamiento por FMC produce un mayor descenso del contenido del ácido tartárico que el tratamiento ED (9), esto no se verifica en este ensayo. Esto puede deberse a la corrección de la acidez total efectuada con ácido tartárico, previo a los tratamientos de FMC, que en forma industrial se efectúa en los vinos sometidos a esta estabilización. Sin embargo, si se observan los datos sin procesar, se verifica que el mismo vino, luego de los tratamientos presenta menos acidez total para el FMC, que para el tratamiento ED.

En el tratamiento ED, se ha producido una pérdida de aproximadamente 0,33g/L; mientras que en el tratamiento FMC, la caída es de aproximadamente 0,73 g/L de ácido tartárico si se compara con el valor inicial y de 1,10 g/L si se considera el valor de partida corregido con ácido tartárico.

Los degustadores no pudieron diferenciar los vinos de acuerdo con el tratamiento de estabilización tartárica empleado. Este resultado es coincidente con la bibliografía para vinos portugueses y para vinos de San Giuliano (5, 11).

Los degustadores tampoco pudieron determinar una preferencia entre los tratamientos en este ensayo, aunque hay bibliografía donde se determinó preferencia para el tratamiento de FMC en el caso de vinos sherry (10).

CONCLUSIONES

Es posible sustituir la estabilización tartárica por frío método de contacto de los vinos blancos y tintos ensayados por la estabilización por electrodiálisis, sin que

un panel de degustadores expertos detecte diferencias, ya que las características físico-químicas y organolépticas del vino no fueron modificadas significativamente.

Los vinos estabilizados respecto de las precipitaciones tartáricas por tratamiento de frío método de contacto, no difieren significativamente de los vinos estabilizados por electrodiálisis en cuanto a sus características físico-químicas y organolépticas.

Un panel de degustadores expertos no fue capaz de detectar diferencias entre los vinos estabilizados por ambos métodos, ni pudo establecer una preferencia.

La estabilización por electrodiálisis permitiría ahorrar ácido tartárico, ya que no requiere una corrección previa al tratamiento de estabilización, como en el Frío Método de Contacto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Berg, H. W. 1960. Stabilization studies on spanish sherry and on factors influencing KHT Precipitation. *Am. J. Enol. Vitic.* 11: 123-128. American Society for Enology and Viticulture, Davis, California, USA.
2. Berg, H. W.; Keefer, R. M. 1958. Analytical determination of tartrate stability in wine. I. Potassium Bitartrate. *Am. J. Enol. Vitic.* 9: 180-193.
3. Berovic, M.; Kosmerl, T. 2008. Monitoring of potassium hydrogen tartrate stabilization by conductivity measurement. *Acta Chim. Slov.* 55: 535-540.
4. Bories, A.; Sire, Y.; Bouissou, D.; Goulesque, S.; Moutounet, M.; Bonneaud, D.; Lutin, F. 2011. Environmental impacts of tartaric stabilization processes for wine using electrodiálisis and cold treatment. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 3(2): 174-182.
5. Cameira dos Santos, P.; Mendes Pereira, O.; Goncalvez, F.; Tomás Simoes, J.; de Pinho, M. N. 2000. Ensaio de estabilização tartárica em vinhos portugueses: estudo comparativo da electodiálise e de um método tradicional. *Ciencia Téc. Vitiv.* 15(2): 95-108.
6. Escudier, J. L. 2002. New physical techniques for the treatment of wine: Electrodiálisis. *Vinidea.net-Wine internet technical journal* N°4, art.4 of 5: 1-15. Disponible en: [<http://www.vinidea.net/files/1/escudier4engoct02.pdf>], [Fecha de consulta: 22 de Julio de 2012].
7. Forsyth, K. 2010. Comparison between electrodiálisis and cold treatment as a method to produce potassium tartrate stable wine. AWRI Project number: PCS 10004. Australian Wine Research Institute, Glen Osmond, South Australia.
8. Gavach, C. 1992. L'Electrodiálise: principe. *Rev. Française de Oenologie.* 137: 53-58.
9. Gómez Benítez, J. (a); Palacios Macías, V. M. ; Veas López, R. ; Pérez Rodríguez, L. 2003. Prediction of tartrate stability of sherry wines by a conductimetric system with rapid response. *Food Chemistry.* 81: 457-462.

10. Gómez Benítez, J. (b); Palacios Macías, V. M.; Szekeley Gorotiaga, P.; Veas López, R.; Pérez Rodríguez, L. 2003. Comparison of electro dialysis and cold treatment on an industrial scale for tartrate stabilization of sherry wines. *J. Food Engineering*. 48: 373-378.
11. Goncalvez, F.; Fernandez, C.; Cameira dos Santos, P.; de Pinho, M. N. 2003. Wine tartaric stabilization by electro dialysis and its assesment by saturation temperature. *J. Food Engineering*. 59: 229-235.
12. Jackson, Ronald S. 2002. Análisis Sensorial de vinos. Manual para profesionales. Acribia, Zaragoza, España. 106-113.
13. Lawless, H.; Heymann, H. 2010. Sensory evaluation of food. Principe and Practices, 2° edition. Food Science Text Series, Springer, New York, USA. 84-91.
14. Low, L. L.; O'Neill, B.; Ford, C.; Godden, J.; Gishen, M.; Colby, C. 2008. Economic evaluation of alternative technologies for tartrate stabilization of wines. *International Journal of Food Sience and Technology*. 43: 1012-1016.
15. Juclas S. R. L. Manual de instrucciones de uso y mantenimiento ED15-30-45-60 Estabilización tartárica por electrodiálisis. 2010. Beveragesystem Vason Group. Patente-Licencia INRA-EURODIA. 68 p.
16. Moine-Ledoux V.; Perrin, A.; Pladin, I.; Dobourdieu, D. 1997. Premiers résultats de stabilisation tartrique des vins par addition de mannoprotéines purifiées (Mannostab™). *J. Int. Sci. Vigne Vin*. 31(1): 23-31.
17. Moutounet, M.; Saint Pierre, B.; Battle, J. L.; Escudier, J. L. 1995. Le stabilisateur tartrique: principe et description du procédé. *Rev. Francaise de Oenologie*. 137: 15-35.
18. Norma IRAM 20011; 1997. Análisis sensorial. Metodología dúo-trío. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.
19. Norma IRAM 20007; 1997. Análisis sensorial. Ensayo de comparación por pares. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.
20. Norma IRAM 20009; 1997. Análisis sensorial. Test de preferencia. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.
21. Norma IRAM 20015; 2002. Análisis sensorial. Identificación y selección de descriptores para establecer un perfil sensorial por el método multisensorial. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.
22. OIV, 2009. Recueil international de Méthodes d'analyse OIV. Méthodes internationales d'analyse des vins et de mouts. [<http://www.oiv.int/oiv/info/frmethodesinternationalesvin>], [Consulta Disponible en: 9 de junio de 2012].
23. Riponi, C.; Nauleau, F.; Amati, A.; Arfelli, A.; Catellari, M. 1992. Essais de stabilisation tartrique des vins au moyen de la électridiálise. *Rev. Francaise de Oenologie*. 137: 59-64.
24. Singleton, V. L.; Kramling, T. E., 1976. Browning of white wines and an accelerated test from browning capacity. *Am. J. Enol. Vitic*. 27(4): 157-160.
25. Ureña Peralta, M.; D'Arrigo Huapaya, M.; Girón Molina, O. 1999. Evaluación sensorial de los alimentos. Aplicación didáctica. Anexo II. Comparación pareada Dúo Trío, N° seleccionados correctos requeridos para indicar diferencias significativas a diferentes niveles. Editorial Agraria, Lima, Perú.
26. Vernhet, H.(b); Dupre, K. ; Boulange-Petermann, L. ; Cheynier, V. ; Pellerin, P. ; Moutounet, M. 1999. Composition of tartrate precipitates deposited on stainless steel tanks during the cold stabilization of wines. Part II. Red Wines. *Am. J. Enol. Vitic*. 50: 398-403.

Variedades criollas, una oportunidad para el pisco de Chile

Nativevarieties, an opportunity for Chilean pisco

Philippo Pszczólkowski ¹, Pablo Lacoste ²

Originales: *Recepción*: 02/06/2015 - *Aceptación*: 07/01/2016

RESUMEN

Se realiza un análisis crítico de las variedades de uva usadas en la elaboración del pisco en Chile, realizando algunas comparaciones con la de otros aguardientes sudamericanos, como el pisco de Perú y singani de Bolivia. Se constata, que en el caso chileno, el 99,7% de la superficie corresponde a Moscatel de Alejandría (14,0%) y variedades criollas (85,7%), con escaso porcentaje de variedades asociadas al paradigma francés (0,21%). Se propone definir al pisco chileno como un aguardiente andino elaborado con variedades criollas e históricas de la colonia española, lo cual posicionaría al pisco chileno en el territorio andino por tradición y material genético.

Palabras clave

Chile • pisco • variedades criollas

1 Pontificia Universidad Católica de Chile. Avenida Jaime Guzmán Errázuriz, Santiago, Región Metropolitana, Chile.

2 Universidad de Santiago de Chile. Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363, Santiago, Región Metropolitana, Chile. pablo.lacoste@usach.cl

ABSTRACT

A critical analysis of the varieties used in the production of pisco in Chile is done, making some comparisons with other South American spirits such as pisco of Peru and Bolivia singani. It is found that in the Chilean case, 99.7% of the surface corresponds to Muscat of Alexandria (14.0%) and native varieties (85.7%), with low percentage of varieties associated to the French paradigm (0,21%). It aims to define the Chilean pisco as an Andean spirit made from native and historical varieties of Spanish colony, which would position the Chilean pisco to the Andean territory by traditionally and genetic material.

Keywords

Chile • pisco • native varieties

INTRODUCCIÓN

El papel de las variedades de uva es cada vez más importante en los productos vitivinícolas, tanto vinos como aguardientes. La estrategia de los países del Nuevo Mundo Vitivinícola ha apelado, justamente, a la relevancia de los vinos varietales como eje de su estrategia de producción y comercialización en el mercado mundial.

Mientras los europeos enfatizan sus *terroir* y sus mil años de historia vitivinícola, la industria del Nuevo Mundo se ha centrado en la afirmación de la relevancia de las variedades de uva como base de la identidad de sus productos (21).

El varietal se ha elevado a la estatura de bandera nacional y emblema identitario de la industria, como en el caso de la Malbec para Argentina, la Shiraz para Australia, la Tannat para Uruguay, la Carmenère en Chile, entre otros (20).

En los últimos años, se ha comenzado a detectar estas mismas tendencias en Europa, como el caso de la DO Cahors, que ha redefinido su imagen a partir de la Malbec (11, 18).

El presente artículo tiene como objetivo analizar críticamente las variedades de uvas que se utilizan para la destilación del

pisco, aguardiente de uva elaborado en Chile, delimitado como Denominación de Origen desde 1931 (8).

Las uvas pisqueras están definidas en el Decreto 521, firmado por el presidente Eduardo Frei Ruiz-Tagle el 27 de mayo de 2000, en el cual se autoriza el empleo de trece variedades como aptas para elaborar el tradicional producto, conforme a los conocimientos entonces disponibles. Pero en los últimos quince años, se han realizado importantes avances científicos, a partir de marcadores de ADN y otros métodos, con lo cual se ha podido conocer con mayor profundidad la identidad y origen de estas variedades. Por lo tanto, el Decreto 521 ha quedado obsoleto y sería conveniente revisarlo (23).

Trayectoria del pisco: identidad y significado

El pisco chileno representa uno de los pocos productos típicos de América Latina que logró mantener su identidad a lo largo de tres siglos. Igual que el pisco, en el período colonial, varios alimentos y bebidas alcanzaron fama y prestigio. Pero la hegemonía del paradigma francés, que pasó a dominar la moda y las pautas de

consumo desde mediados del siglo XIX, hizo que casi todos los productos típicos desaparecieran, al ser sustituidos por bebidas y alimentos importados o sus imitaciones, como el "coñac" hecho en Chile y en Argentina. Este fue el destino, por ejemplo, del aguardiente de San Juan, el más importante destilado del Cono Sur en el siglo XVIII y buena parte del XIX. También desaparecieron otros productos típicos chilenos como el jamón de Chiloé, el queso de Chanco, el vino asoleado de Cauquenes, entre otros (16).

A pesar de este ambiente desfavorable para los productos típicos criollos, el pisco chileno logró resistir esos embates y mantenerse vivo.

Tras fuertes luchas políticas y debates parlamentarios, el pisco fue reconocido, delimitado y protegido por el Estado como Denominación de Origen en 1931, y logró sostenerse como producto emblemático del país hasta la actualidad.

Paralelamente, otros aguardientes históricos siguieron este derrotero, en el sentido de afirmar su identidad regional y erigirse en DO como el tequila mexicano (1974), el singani boliviano (1988) (4, 7) el pisco peruano (1991) y la cachaza de Brasil (23).

Dentro del conjunto general de los aguardientes históricos de América Latina, existe un grupo específico formado por los aguardientes andinos: el singani de Bolivia, el pisco de Perú y el pisco de Chile. Se trata de tres productos hermanos, surgidos alrededor del mismo mercado: Potosí. Tras descubrimiento en 1545, el Cerro Rico se convirtió en un excepcional polo minero.

Las vetas eran tan ricas, que se produjo una fiebre de la plata. Decenas de miles de personas se trasladaron a Potosí, que llegó a tener una población de 150.000 habitantes en 1611.

Potosí era entonces la mayor ciudad del Imperio Español. Ubicada a 3.900 m s. n. m. Potosí era una buena plaza de producción minera, pero poco adecuada para producir alimentos. Su enorme población se convirtió entonces, en el principal mercado para los productores agroindustriales de un amplio territorio, que se extendía del Atlántico al Pacífico, desde el Río de la Plata hasta el Valle Central de Chile. Justamente, para abastecer este mercado, se movilizaron los productores vitivinícolas del sur del Perú, el norte de Chile, los valles de Cinti, Cotagaita y otros en Bolivia y los del noroeste de Argentina.

Como el vino era complicado de transportar en viajes tan largos, surgió naturalmente la alternativa del aguardiente que, por su alta graduación alcohólica, es más estable, no se deteriora y llega al mercado con mayor seguridad. Este fue el origen de los tres aguardientes históricos de la región andina.

Desde el punto de vista de la viticultura, los tres aguardientes andinos nacieron asociados a las uvas traídas por los españoles, sobre todo las variedades Uva País y Moscatel de Alejandría (15). De todos modos, con el correr del tiempo, cada uno de estos tres destilados realizaría después su propio itinerario vitícola, como se examina más adelante.

El pisco chileno nació a comienzos del siglo XVIII, asociado a las variedades introducidas por los colonizadores españoles (Uva del País y Moscatel de Alejandría), y a las variedades criollas derivadas del mestizaje natural entre aquellas.

Durante los trescientos años de existencia del pisco, se introdujo otras variedades en la zona de producción y se realizó diversos experimentos, según la intuición comercial de los productores.

Tras la delimitación del pisco como DO, comenzó el proceso de reglamentación del producto para asegurar su identidad. Periódicamente, el Estado se hizo cargo de actualizar las normas que debían cumplir los productores para tener derecho a utilizar la palabra "pisco" para comercializar sus aguardientes, de modo tal de proteger y fortalecer la identidad y calidad del producto.

No puede desconocerse la controversia existente entre Chile y Perú en cuanto a la titularidad de la DO pisco, la cual presenta en ocasiones ribetes de carácter nacionalista. No obstante lo anterior, la Organización Mundial del Comercio (OMC) y antes la Organización Mundial de la Viña y el Vino (OIV) establecieron los derechos de Chile sobre la DO pisco, sin desconocer los que tiene el Perú. Así lo ha entendido el concierto internacional, como por ejemplo, lo demuestra el fallo del Registro de la Propiedad Industrial de Costa Rica, donde se señala que no existe una competencia desleal por parte de Chile, tal como reclamaba Perú, ya que la homonimia garantiza la protección del consumidor, obligando a los productores a especificar en las etiquetas las diferencias entre una denominación y otra. Una situación semejante ya se había dado en El Salvador.

Para Fernando Herrera (2008), Gerente de la Asociación de Productores de Pisco de Chile, la DO Pisco-Chile tiene los atributos históricos-culturales y comerciales que la acreditan como tal y que, por lo tanto, debe ser protegida de acuerdo con las normas jurídico-comerciales que hoy están establecidas en el mundo comercial. El Inapi (Chile) agrega que las DO operan sobre la base de territorialidad, por ende, serán protegidas solo en aquellos países en que se logra obtener la protección.

Tácitamente, el Perú realizó un reconocimiento respecto de este concepto, dentro del Tratado de Libre Comercio que tramitó con Estados Unidos, al señalar que el concepto que les pertenece es Pisco-Perú, y que Estados Unidos reconoce como producto distintivo del Perú.

La norma actualmente vigente en Chile es el Decreto 521, el cual establece las variedades de uva autorizadas. Conviene por lo tanto, examinar críticamente las variedades señaladas en este Decreto desde la perspectiva de la identidad del pisco y a la luz de los últimos descubrimientos científicos sobre cultivares criollos. Se trata de examinar cada una de las variedades de uva consideradas en esta norma, a los efectos de identificar sus fortalezas y debilidades, sobre todo, sus posibles inconsistencias, con vistas a proponer recomendaciones.

Orígenes del pisco y sus variedades fundacionales

La vid (*Vitis vinífera* L.), fue introducida a América en el segundo viaje de Cristóbal Colón, en 1493.

Posteriormente, los colonizadores españoles la establecieron en México (1522), Perú (1542) y Chile (1554). Paralelamente, los colonizadores portugueses la introdujeron en la costa oriental de Sudamérica (1532).

Probablemente, el origen de la vid llegada originalmente a América corresponde a las islas Canarias donde las expediciones se abastecían de agua y víveres, entre los cuales puede nombrarse las pasas. Una de las variedades autóctonas de las islas Canarias es la Listán Prieto (19) y de sus semillas descenderían los múltiples ecotipos encontrados en América, entre los que se puede señalar a Mission (California), Negra Corriente (Perú), Misionera (Bolivia), Uva del País o País (Chile) y Criolla Chica (Argentina) (10, 22).

Otra variedad de amplia distribución en Sudamérica, particularmente en Perú, Bolivia, Chile y Argentina, corresponde a Moscatel de Alejandría, de origen norafricano.

De acuerdo con Lacoste *et al.* (2015) en Chile, la Moscatel de Alejandría se comenzó a cultivar en La Serena, a comienzos del siglo XVIII.

El registro más temprano corresponde a 1720. En cambio, en el Valle Central, esta variedad llegó recién medio siglo más tarde y demoró otros 50 años para cruzar el río Maule. Por lo tanto, los viticultores del Corregimiento de Coquimbo fueron los primeros en Chile en aprender a manejar dos variedades distintas (País y Moscatel de Alejandría); y a través de su trabajo de selección natural y cultural, generaron las condiciones para el fortalecimiento de estas variedades y el surgimiento de otras nuevas, derivadas del mestizaje de ambas, llamadas "uvas criollas" (15, 19).

Surgieron así los nuevos cultivares criollos, tales como la Blanca Redonda Mollar, la Imporeña, la Moscatel de Austria, la Moscatel Rosada, la Pedro Giménez (9), la Quebranta, la Torontel o Torrontés (3) o Moscatel Amarilla (12), la Vicchoqueña y probablemente también la Moscatel Negro.

El pisco nació, justamente, en este ambiente de cepas históricas españolas. Los viticultores de Coquimbo ya elaboraban aguardiente desde el siglo XVII; pero el uso de la palabra "pisco" para denominarlo está documentado a partir de 1733, en la Hacienda la Torre, en el Valle de Elqui.

Por lo tanto, cuando el pisco nació, se apoyó en una viticultura centrada en las dos variedades fundacionales: País y Moscatel de Alejandría; y poco a poco, comenzó a recibir también el influjo de las variedades criollas que comenzaron a surgir del mestizaje natural entre las anteriores.

Los aguardientes hermanos del pisco chileno también se desarrollaron a partir de variedades criollas e históricas. El singani de Bolivia se produce exclusivamente a partir de la Moscatel de Alejandría.

En el caso del pisco de Perú, se elabora a partir de las dos variedades coloniales (País y Moscatel de Alejandría) y de algunas criollas como la Quebranta, la Mollar, la Albilla, la Torontel y probablemente la denominada Moscatel.

También se autoriza a la variedad Uvina, que corresponde a un antiguo híbrido productor directo francés, la variedad Jacquez, obtenida por el cruzamiento de *Vitis aestivalis-cinerea* y *Vitis vinifera*.

Dada las condiciones climáticas subtropicales de altura que poseen los valles productores de pisco en el Perú, particularmente los valles de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga, donde se concentra la mayor superficie de esta variedad no aromática y donde por altura la variedad Quebranta no se puede desarrollar, explican la presencia de este híbrido que, además, presenta alguna menor sensibilidad a plagas como filoxera (*Dactylospheera vitifoliae*) y enfermedades como oidio (*Erysiphe necator*), antracnosis (*Elsinöe ampelina*) y mildiú (*Plasmopara viticola*).

El Decreto 521 y las variedades de uva para pisco

Actualmente, la elaboración del pisco chileno es reglamentada por la Ley 18.455 en su artículo 28 letra a, y el Decreto 521, del 27 de mayo de 2000. En su artículo 2 letra b, este Decreto define al pisco señalando que esta denominación queda reservada para el aguardiente producido y envasado, en unidades de consumo, en las regiones de Atacama y de Coquimbo, elaborado por destilación de vino genuino potable, proveniente de las variedades de vides que determine el Reglamento, plantadas en dichas regiones.

Los vidueños de uva pisquera son definidos también por el Decreto 521, a través de su artículo 5. Allí se enumera las variedades que pueden emplearse para la obtención de alcohol base destinado a la elaboración de pisco.

Las denominadas "uvas pisqueras" que se enumeran son trece: la Moscatel de Alejandría o Italia, la Moscatel Rosada o Pastilla, la Torontel, la Moscatel de Austria, la Pedro Jiménez, la Moscatel Blanca o Temprana, la Chasselas Musque Vrai, la Moscatel Amarilla, la Moscato de Canelli, la Moscatel de Frontignan, la Moscatel de Hamburgo, la Moscatel Negra y la Muscat Orange. Las cinco primeras se reconocen como principales, quedando las ocho restantes como accesorias.

Es importante considerar la situación vitícola de los otros dos aguardientes hermanos del pisco chileno: singani y pisco peruano. Para el caso del singani, la única variedad autorizada por la legislación boliviana es la Moscatel de Alejandría (Decreto Supremo 21.948, de 13 de Mayo de 1988). En cuanto al pisco peruano, esta variedad también está reconocida por la legislación nacional (Decreto Supremo N° 001-91-ICTI/IND, de enero de 1991), utilizando su sinonimia de Italia, pero, a diferencia del singani, el pisco peruano también puede elaborarse con otras variedades: la Quebranta, la Negra Corriente, la Mollar, la Moscatel, la Albilla, la Torontel y la Uvina.

Por este motivo, resulta oportuno analizar críticamente el listado de variedades, particularmente las señaladas para Chile, clasificándolas por origen y a la luz de los antecedentes existentes en cuanto a ampelografía clásica y molecular referida a ellas para, en función de lo anterior, analizar su potencial y proponer un modelo de desarrollo de la industria basado en las variedades criollas.

Análisis crítico de las variedades usadas en la elaboración de pisco en Chile

Las trece variedades que el reglamento reconoce como "uvas pisqueras" se dividen en cuatro grupos:

- 1) Las variedades introducidas por los españoles durante el período colonial.
- 2) Los vidueños criollos, nacidos del mestizaje entre las anteriores.
- 3) Las variedades incorporadas después de 1850 en el marco del paradigma francés.
- 4) Otras variedades europeas. Conviene examinar cada uno de estos grupos a la luz de los últimos avances científicos.

Variedades españolas coloniales

Entre las variedades introducidas durante la colonia, la legislación vigente señala a Moscatel de Alejandría.

La Moscatel de Alejandría (llamada también Uva de Italia en Perú y, también en la zona pisquera y el secano sur interior de Chile) comenzó a cultivarse en La Serena a comienzos del siglo XVIII, vinculándose a la industria del pisco casi desde sus primeros pasos y este lazo se ha mantenido hasta la actualidad. Se trata de una variedad de intenso carácter moscatel debido a terpenos como el linalol (5, 13).

Por otra parte, por la importancia que tiene para la comprensión de este escrito y, aun cuando la legislación actualmente vigente no la señala, es necesario nombrar a la Uva País, introducida durante el período de la conquista española.

Anteriormente ella estuvo autorizada para la producción de pisco, pero luego pasó a tener un carácter transitorio, permitiéndose su uso solo hasta la cosecha de 1998. Sin embargo, curiosamente aún hoy aparece como "pisquera" en el Catastro vitivinícola del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

Variedades criollas

Las variedades criollas de uva pisquera son descendientes directos de los dos vidueños españoles de la época colonial: la Uva País y la Moscatel de Alejandría. A partir del mestizaje espontáneo entre estas dos variedades, surgieron todas las criollas (3, 9, 19).

Entre las nombradas en el Decreto 521, se encuentra la Moscatel de Austria, conocida como Torrontés Sanjuanino en Argentina, de carácter neutro; la Moscatel Rosada, de intenso carácter moscatel (1, 2, 6) y la Torontel, conocida en Argentina como Torrontés Riojano, ambas sinonimias de Moscatel Amarillo de acuerdo con Haebig y Correa (1975) y de carácter moscatel (1, 2). Probablemente en este grupo también puede incluirse a la Moscatel Negra, la cual difiere ampelográficamente de la variedad Moscatel de Hamburgo, la más conocida de las variedades negras de carácter moscatel. También aparecen las variedades criollas Albilla, Huasquina y San Francisco.

Estos vidueños en algún momento se consideraron como uvas pisqueras; luego tuvieron un carácter de transitorias, permitiéndose su uso hasta la cosecha de 1998, aún cuando todavía aparecen en el catastro del SAG como uvas pisqueras.

Mención aparte corresponde a la variedad criolla Pedro Giménez (8), impropriamente denominada en el Decreto 521 como Pedro Jiménez.

Todavía no se sabe cuándo ni dónde nació esta variedad nueva. Tal como señalan los estudios con marcadores de ADN, se trata de una uva criolla, descendiente del mestizaje entre la Moscatel de Alejandría y la Uva País (8). Por lo tanto, debió nacer entre viñedos donde convivían ambas variedades; y ello pudo ocurrir entre los siglos XVIII y XIX, en el Corregimiento de Coquimbo o en Cuyo.

La variedad española Pedro Jiménez (sinónimo de Pedro Ximénez, Pero Ximénez, Ximénez, PX, entre otras) se diferencia completamente por ampelografía clásica y molecular de la variedad homónima Pedro Giménez, de origen criollo. Cuando en el Decreto 521 se menciona "Pedro Jiménez" en realidad se está haciendo referencia a Pedro Giménez. Esta última variedad es la más plantada en la zona pisquera (3.393 hectáreas) y se utiliza para elaborar pisco.

Sin embargo, se la asocia a la Pedro J(X)iménez de España, sin asumir las evidencias científicas a la luz de los conocimientos actuales.

En Atacama y Coquimbo, regiones en las cuales se produce el pisco, no existen plantaciones de Pedro Jiménez, pero sí en otras regiones de la zona central de Chile, donde alcanza una mínima superficie. Por lo tanto, la variedad española Pedro Jiménez o Ximénez no tiene presencia real en las zonas delimitadas por la Denominación de Origen.

La variedad criolla que efectivamente se cultiva en la zona pisquera, es la que se llama en Argentina Pedro Giménez, nombre adecuado para marcar una diferencia clara con la variedad española Pedro Jiménez o Pedro Ximénez.

Para evitar confusiones, es conveniente mantener para la criolla un nombre claramente distinto de la española, y utilizar la letra "G" en vez de "J".

En este sentido, es adecuado llamar esta variedad Pedro Giménez y no Pedro Jiménez. Es recomendable que el SAG rectifique el Decreto 521 y establezca que la uva tradicionalmente usada para elaborar pisco es Pedro Giménez.

Las variedades del paradigma francés en la viticultura del pisco

El paradigma francés ha sido descrito entre otros artículos por Lacoste *et al.* (2015), fenómeno que afectó a Chile y Latinoamérica en general. En ellos se señala que los "tecnócratas europeos" lideraron la transformación de la viticultura chilena en la segunda mitad del siglo XIX, logrando posicionarse en el centro de la formación de opinión sobre la valoración de los productos del campo y la jerarquía de los alimentos en todo el país.

Realizaron sus acciones en un ambiente sociocultural de admiración ilimitada de las élites chilenas por la cultura europea en general y francesa en particular. En la vitivinicultura, los "tecnócratas europeos" instalaron dos tendencias:

1- La sobrevaloración de las cepas francesas y los vinos y aguardientes de imitación, tipo Burdeos, Borgoña, Champagne, Coñac, Armañac, entre otros. Esta tendencia se vio acompañada con una actitud de desprecio hacia las variedades introducidas por los españoles (País, Moscatel de Alejandría) y uvas criollas (Moscatel de Austria, Moscatel Rosada, Torontel o Moscatel Amarillo, entre otras).

2- El desprecio abarcó también a productos típicos como la chicha, chacolí, vino asoleado, vino pintatani, pajarete y pisco en Chile. El mismo problema afectó las tradicionales bebidas de la actual Argentina, como el aguardiente de San Juan, que alcanzó fama y prestigio desde el siglo XVIII hasta mediados del XIX en toda el área rioplatense; este producto llegó a ser más importante que el singani de Bolivia y el pisco chileno; pero no pudo resistir las modas y el paradigma francés, y se diluyó en el tiempo; nunca pudo consolidarse ni fue reconocido como DO.

Para los "tecnócratas europeos", las variedades españolas y criollas, y

los productos típicos no tenían valor enológico, asegurando que con ellas no era posible elaborar vinos o productos de buena calidad. Instalaron una cultura de la minimización del valor de las variedades criollas, concepto que se transformó en paradigma hegemónico en las ciencias agrarias chilenas, y mantuvo esta posición durante más de un siglo.

Además de despreciar las variedades criollas, los "tecnócratas europeos" despreciaron la viticultura tradicional en su conjunto. En lugar de valorar la diversidad de métodos y estilos, propiciaron que solo fuera aceptable la aplicación de los sistemas franceses. Negaron el valor de las viñas de secano y las cepas de cabeza.

Censuraron el equipamiento y las instalaciones de los viticultores artesanales, como lagares de cuero y fudres de roble chileno. Finalmente, negaron todo valor a los productos típicos. En líneas generales, estos productos eran considerados de mala calidad por provenir de viñas mal cultivadas y usar deficientes métodos de elaboración.

El paradigma de los "tecnócratas europeos" se extendió también a los enólogos y agrónomos chilenos.

Los manuales de estudio y los centros de enseñanza, al tratar los temas de viticultura y vinificación, terminaron por consolidar el paradigma francés propuesto.

Como resultado, en el siglo XX se impuso en la viticultura chilena una tendencia a reproducir el modelo de las viñas centradas en variedades francesas, con métodos franceses, adaptados al estilo de las grandes fábricas de vino, en manos de un reducido número de familias ricas.

Este paradigma francés, recién ha comenzado a revertirse a comienzos del siglo XXI, con exitosos ensayos de vinos secos, vinos espumantes y piscos.

En este nuevo proceso se han comenzado a utilizar y valorar las variedades españolas

históricas (País y Moscatel de Alejandría) y los vidueños criollos, sobre todo Pedro Giménez, y en menor medida las demás: Moscatel Rosada y Torontel o Moscatel Amarilla, entre otras.

En la enumeración de variedades con aptitud pisquera que hace el Decreto 521, se constata que el paradigma francés también permeó su redacción, incorporando a ella a la variedad Moscatel Blanca Temprana, sinonimia de la variedad francesa Muscat Blanc à Petits Grains. Además, esta variedad tiene por sinonimias a otras dos variedades nombradas en el Decreto 521, como son la Moscatel de Frontignan y la Moscato de Canelli.

En consecuencia, las tres no son más que sinonimia de la variedad francesa Muscat Blanc à Petits Grains o como se conoce en España, Moscatel de Grano Picudo.

La Muscat Blanc à Petits Grains corresponde a una de las más finas moscateles francesas. Al menos, la denominación en el Decreto 521 es castiza y, si se decide mantenerla, así debería seguir.

Otras variedades asociadas con el paradigma francés e incluidas en el Decreto 521 son, la Mascat Orange y la Chasselas Musqué Vrai, una mutación de la Chasselas Blanc.

En el caso de esta última, se trata de una curiosidad a nivel mundial, ya que ella estaría presente solo en algunas colecciones ampelográficas del mundo. No debe confundirse con la Chasselas de carácter neutro que es posible encontrar en el secano sur interior de Chile.

Otras variedades de origen europeo

Además de las variedades de origen francés, en el Decreto 521 se señalan otras variedades de origen europeo, como la Moscatel de Hamburgo y la española

Pedro Jiménez. Como se ha señalado, esta última no tiene una existencia real en la industria del pisco.

Por lo tanto, conviene eliminarla totalmente del listado oficial. Por su parte, la Moscatel de Hamburgo corresponde a un cruzamiento realizado en 1858, en los invernaderos victorianos de Inglaterra, y propagada por Seward Snow, jardinero del Earl de Grey. Corresponde al cruzamiento mestizo entre la Schiava Grossa (sinonimias, Uva Negro Hamburgo, Frankenthal, Trollinger) con la Moscatel de Alejandría (sinonimias, Zibibbo, entre otras).

En 2003, análisis de ADN confirmaron este cruzamiento. Es la moscatel de color negro de mayor renombre mundial, la cual no está presente en Chile, pero sí en Europa y Uruguay. Dada su coloración es también denominada Moscatel Negra, pero no tiene nada que ver con la Moscatel Negra encontrada en el viñedo chileno, que con alta probabilidad se trata de una variedad criolla, en consecuencia originada en el cruzamiento espontáneo de la Criolla Chica (País) y la Moscatel de Alejandría.

Por lo tanto, igual que la española Pedro Jiménez, la Moscatel de Hamburgo es una variedad que no tiene existencia en la zona productiva del pisco, y conviene suprimirla del listado oficial.

Situación actual de las variedades en la zona pisquera

De las 13 variedades autorizadas por la legislación chilena, solo nueve presentan superficies oficiales en el Catastro vitivinícola 2014 elaborado por el SAG (tabla 1, pág. 248), Moscatel Blanca Temprana (Muscat Blanc à Petits Grains), Moscatel de Alejandría (Italia), Moscatel de Austria, Moscatel de Frontignan (corresponde a una sinonimia de La Moscatel Blanca Temprana o la Muscat

Blanc à Petits Grains, Moscatel Negra, Moscatel Rosada (Pastilla), Torontel (Torrontés Riojano) a la cual debe sumarse superficie de la Moscatel Amarilla que es sinonimia de ella (12) y Pedro Jiménez.

En el caso de esta última, aún cuando en el Decreto 521, como también en el Catastro vitivinícola del SAG, incluyen a la variedad española Pedro Jiménez, tal como se señaló, ella no está presente y la superficie que se le atribuye corresponde a la variedad de origen criollo Pedro Giménez.

En el Catastro se incluyen además, cuatro variedades "transitorias": La Albilla, la Huasquina, la País y la San Francisco, autorizadas para la producción de pisco hasta 1998.

En total, la superficie alcanza a 7.993,7 hectáreas, 5,44% y 94,56% en Atacama y Coquimbo, respectivamente.

Restando las "transitorias" señaladas, la superficie real sería de 7.979,7 hectáreas.

En consecuencia, un altísimo porcentaje de la superficie actual del viñedo pisquero está plantada con:

1- Variedades históricas introducidas por los españoles (Moscatel de Alejandría, 1.120,5 hectáreas, el 14,0%).

2- Variedades criollas (Moscatel Rosada, 1.528,9 hectáreas; Moscatel de Austria, 1.662,1 hectáreas; Moscatel Negra, 4,0 hectáreas; Torontel, 204,7 hectáreas, a la cual debería sumarse la Moscatel Amarilla con sus 49,7 hectáreas, ya que son sinonimias (12) y Pedro Giménez, 3.392,9 hectáreas (impropiamente denominada Pedro Jiménez), con un total de 6.838,3 hectáreas, el 85,7%.

Ambos grupos alcanzan una superficie total de 7.958,8 hectáreas, el 99,7% de la superficie.

Tabla 1. Superficie de variedades pisqueras, en hectáreas, de acuerdo con el Catastro vitivinícola 2014.

Tabla 1. Surface of pisco varieties in hectares, according to the Wine Registry 2014.

	Albilla ¹	Huasquina ¹	Moscatel amarilla	Moscatel blanca o temprana	Moscatel de Alejandría o Italia	Moscatel de Austria	Moscatel de Frontignan	Total
De Atacama	0,1				94,92	91,4		434,9
De Coquimbo		0,39	49,74	15,75	1025,55	1570,7	1,1	7558,8
TOTAL	0,1	0,39	49,74	15,75	1120,5	1662,1	1,1	7993,7

	Moscatel negra	Moscatel rosada (pastilla)	País ¹	Pedro Jimenez	San Francisco ¹	Torontel	Total
De Atacama		29,75	2,35	215,35		1	434,9
DE Coquimbo	4	1499,16	11,08	3177,59	0,05	203,67	7558,8
TOTAL	4	1528,91	13,43	3392,94	0,05	204,67	7993,7

Fuente: Catastro vitivinícola SAG (2014).

¹ Variedades transitorias, autorizadas hasta la vendimia de 1998, pero aún incluidas en las cifras oficiales del Catastro vitivinícola del SAG.

Source: Wine Registry (SAG) Ministry of Agriculture, Republic of Chile (2014).

Transitional varieties, authorized to vintage 1998, but they are still included in the official Cadastre.

1- Variedades correspondientes al paradigma francés, como la Moscatel Blanca Temprana (Muscat Blanc à Petits Grains), más su sinonimia Moscatel de Frontignan, poseen solo 16,85 hectáreas, el 0,21% de la superficie total.

2- Por último las variedades transitorias (Albilla, Huasquina, País y San Francisco), aún incluidas en el Catastro del SAG como pisqueras (a diciembre de 2013), poseen una superficie de solo 13,97 hectáreas, el 0,17% del total señalado en el Catastro vitivinícola del SAG de 2014.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

El pisco en Chile se produce en un altísimo porcentaje (85,7%) con variedades criollas. Si a ello se agrega la superficie de la variedad histórica introducida por los españoles, la Moscatel de Alejandría (14,0% de la superficie), se llega a un abrumador porcentaje de variedades tradicionales: 99,7%. Esta es la realidad de la dimensión vitícola de la industria del pisco. Este es un aguardiente elaborado esencialmente a partir de uvas criollas y coloniales.

Se nota una notable inconsistencia entre la realidad del producto y la reglamentación vigente. Esta incluye una serie de variedades de uva que, teóricamente, se pueden utilizar para elaborar el producto, pero en la realidad, su existencia es ínfima o directamente nula.

La diferencia entre el reglamento y la realidad no solo muestra un problema de inconsistencia, sino también debilita la identidad del producto. En la práctica, los viticultores de la zona pisquera han seleccionado, en un 99,7%, las uvas criollas y las históricas coloniales. Han eliminado casi totalmente las variedades francesas y las otras europeas, además de algunas

criollas. Por lo tanto, la normativa oficial, establecida en el Decreto 521 adolece de dos fallas importantes: debilita la identidad y desconoce la realidad del producto.

En este contexto, resulta oportuno impulsar una actualización de la reglamentación de las uvas pisqueras, con vistas a transparentar los criterios y fortalecer la identidad y calidad del producto. En esta renovación reglamentaria, sería conveniente eliminar las siguientes variedades de la uva pisquera:

a- Moscatel Blanca Temprana (Muscat Blanc à Petits Grains) más sus sinonimias Moscatel de Frontignan: 0,21% de la superficie cultivada para pisco y Moscato de Canelli, sin superficie. Ellas representan la presencia del paradigma francés en la industria del pisco. Pero en la práctica, este paradigma no se desarrolló en la zona pisquera.

b- Moscatel de Hamburgo y Pedro Jiménez: ambas con 0,00 % de la superficie cultivada. Por lo tanto, la existencia de estas dos variedades en la zona pisquera no es real.

c- Albilla, Huasquina, País y San Francisco: 0,17% de la superficie. Estas variedades se incluyeron en carácter transitorio hasta 1998 y ya han cumplido su ciclo en la industria. Conviene eliminarlas como pisqueras en el Catastro del SAG e incluirlas en las variedades para elaborar vino.

La nueva reglamentación acotaría las uvas pisqueras a cinco variedades:

- 1) Moscatel de Alejandría o Italia.
- 2) Moscatel Rosada o Pastilla.
- 3) Pedro Giménez.
- 4) Torontel o Moscatel Amarillo.
- 5) Moscatel de Austria.

La lista depurada de variedades de uvas pisqueras, permitirá ganar en consistencia entre el reglamento y la realidad, y a la vez, permitirá fortalecer la identidad del pisco como un aguardiente tradicional andino, asociado a variedades de

uva criollas e históricas. De este modo, se recuperaría la fórmula original del pisco, y se fortalecería su identidad, como producto típico con tres siglos de historia. Esta idea matriz constituye un poderoso elemento de marketing y de posicionamiento del pisco de Chile, como producto andino, asociado a dicho territorio por tradición y material genético. A partir de ello es posible construir un "relato comercial" poderoso para la más antigua de las DO de Chile y Sudamérica.

Este relato propuesto para el pisco de Chile, puede extenderse a otros productos vitivinícolas, los cuales solo se producen o solo se podrían producir en las regiones de Atacama y Coquimbo. Así podría potenciarse la antigua DO Pajarete o la posibilidad de producir vinos secos y vinos espumosos con DO a partir de las variedades criollas y de su progenitora, la variedad Moscatel de Alejandría. En el caso de los vinos secos y vinos espumosos, y muy en particular los elaborados con la variedad criolla Pedro Giménez, ellos quedarían legalmente preservados con carácter exclusivo para las regiones de Atacama y Coquimbo, en un esquema similar a la protección propuesta en la Comisión Asesora del Ministro de Agricultura para las variedades País y Cinsaut con DO Secano Interior, y que

fuera aprobada en 2015 a través de la modificación del artículo 3 bis y otros del Decreto 464, que establece zonificación vitícola y fija normas para su utilización.

Bajo el raciocinio anterior y tomando en consideración la defensa corporativa de la industria del pisco de Chile, en el sentido de mantener la denominación impropia de Pedro Giménez, para la variedad Pedro Giménez, cabe preguntarse: ¿qué sentido tiene defender una variedad española como la Pedro Giménez?, de otro país, de diferente propósito y contraria a la búsqueda de identidad; ¿qué aporta al relato?, frente al hecho de revalorizar las variedades criollas, como la variedad Pedro Giménez, que debería conducir a aportar autenticidad e identidad, definiendo al pisco como un aguardiente andino elaborado con variedades criollas más una de sus progenitoras, la Moscatel de Alejandría. Esta propuesta, basada en conocimientos constatados y a la luz científica del siglo XXI, no debe considerarse como un problema, es una enorme oportunidad. Serán los dirigentes gremiales del pisco los responsables de asumir esta oportunidad y obtener de ella el provecho comercial que corresponda, bocanada de aire fresco que se propone a la industria del pisco y de los vinos de Atacama y Coquimbo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agosin, E.; Belancic, A.; Ibacache, A.; Bordeu, E.; Boursiquot, J. M.; Bayonove, C. 1995. Potencial aromático de variedades moscatelizadas de *Vitis vinifera*. Aconex. 48: 19-24.
2. Agosin, E.; Belancic, A.; Ibacache, A.; Baumes, R.; Bordeu, E.; Crawford, A.; Bayonove, C. 2000. Aromatic potential of certain Muscat grape varieties important for Pisco production in Chile. Am. J. Enol. Vitic. 51(4): 404-408.
3. Agüero, C.; Rodríguez, J.; Martínez, L.; Dangl, G.; Meredith, C. 2003. Identity and Parentage of Torrontés Cultivars in Argentina. Am. J. Enol. Vitic. 54: 318-321.
4. Aillón, E.; Kirigin, M. A. (editoras), 2013. San Pedro: testigo de los tiempos. Por la ruta del singani en Bolivia siglos XVI-XXI. La Paz, Archivo y Biblioteca Nacional de Bolivia. 797 p.
5. Bayonove, C.; Cordonnier, R. 1970. Recherches sur l'arôme du muscat. Evolution des constituents volatiles au cours de la maturation du muscat d'Alexandria. Annales de Technologie Agricole. 19: 79-93.

6. Belancic, A.; Agosín, E.; Ibacache, A.; Bordeu, E.; Baumes, R.; Razungles, A.; Bayonove, C. 1997. Influence of sun exposure on the aromatic composition of Chilean muscat grape cultivars Moscatel de Alejandría and Moscatel Rosada. *Am. J. Enol. Vitic.* 48: 181-186.
7. Buitrago, A. 2014. La viticultura emergente en Bolivia y las oportunidades para el singani. *RIVAR.* 1(2): 87-101.
8. Diaz Osorio, J.; Valdes, R.; Hernandez, N. 2015. Chilean wine in the european market. A positioning mapping approach from Germany. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 159-171.
9. Durán, M.; Agüero, C.; Martínez, L. 2011. Assessing the identity of the variety 'Pedro Gimenez' grown in Argentina through the use of microsatellite markers. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.* 43(2): 193-202.
10. Gil, G. ; Pszczółkowski, Ph. 2015. *Viticultura: Fundamentos para optimizar producción y calidad. Ampliada y actualizada.* Santiago, Ediciones Universidad Católica de Chile.
11. Griset, P. et L. Laborie, 2016. *Historiographie et réinvention du vignoble de Cahors, XXe -XXIe siècles.* *RIVAR.* 3(7): 81-102.
12. Haebig, O.; Correa, A. 1975. Descripción ampelográfica de las principales variedades de vid que se cultivan para la elaboración de vinos en la provincia de Santiago. Editor Raúl Torres Ramos, SAG. 180 p.
13. Hardy, P. J. 1970. Changes in volatiles of Muscat grapes during ripening. *Phytochemistry.* 9: 709-715.
14. Herrera, F. 2008. Chile podría inscribir la denominación de origen Pisco (Chile) en Costa Rica. Disponible en: <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=40027> (Consultado: 30 diciembre, 2015).
15. Lacoste, P.; Yuri, J. A.; Aranda, M.; Castro, A.; Quinteros, K.; Solar, M.; Soto, N.; Gaete, J.; Rivas, J. 2010. Variedades de uva en Chile y Argentina (1550-1850): genealogía del torrontés. *Mundo Agrario.* 10(20): 1-37.
16. Lacoste, P.; Jiménez, D. I.; Briones, F. M.; Castro, A.; Rendón, B. M.; Jeffs, J. G. 2014. Burdeos de Talca y Champagne de Mendoza: Denominaciones de Origen y contaminación identitaria de vinos en Argentina y Chile. *Mundo Agrario.* 15(28): 1-25.
17. Lacoste, P.; Pszczółkowski, Ph.; Soto, N. 2015. Moscatel de Alejandría en Chile y Argentina: origen y relación con el pisco. *Idesia.* 33(3): 79-86.
18. Lacoste, P.; Pszczółkowski, Ph.; Aguilera, P.; Mujica, F. 2015. La chicha de uva: genealogía de un producto típico en Chile. *Idesia.* 33(2): 87-96.
19. Milla Tapia, A.; Cabezas, J. A.; Cabello, F.; Lacombe, T.; Martinez-Zapater, J. M.; Hinrichsen, P.; Cervera, M. T. 2007. Determining the spanish origin of representative American grape vine ancient varieties. *Am. J. Enol. Vitic.* 58: 242-251.
20. Pszczółkowski, Ph. 2004. La invención del cv. Carmenère (*Vitis vinifera* L.) en Chile, desde la mirada de uno de sus actores. *Universum.* 19(2): 150-165.
21. Pszczółkowski, Ph. 2014. Terroir y climats: ¿realidad o quimera?. *RIVAR.* 1(1): 13-19.
22. Pszczółkowski, Ph. 2015. Sauvignon Blanc, Cabernet-Sauvignon y Carmenère, cepas claves de la viticultura actual de Chile. *RIVAR.* 2(4): 1-16.
23. Schnettler, B.; Pihán, R.; Valdevenito, A.; Miranda, H.; Lobos, G.; Grunert, K. G. 2015. Acceptance of a vegetable with designation of origin in two cities in southern Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 173-191.
24. Souza, A. L. 2015 Denominaciones de origen en Brasil: situación actual. Su desarrollo: jurisprudencia y avances de los productores. *RIVAR.* 2(5): 1-21.

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo

Normas para la presentación de artículos

La Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo publica trabajos originales e inéditos, escritos en español o en inglés, cuya temática esté relacionada con la ingeniería agronómica, ciencias de los alimentos y los recursos naturales renovables.

Dichos trabajos pueden ser artículos de investigación, notas científicas y revisiones.

Los primeros son el resultado de la investigación científica teórica, experimental o de campo y significan un aporte original al conocimiento; no deben superar las dieciséis páginas.

Las notas científicas, cuya extensión no debe superar las ocho páginas, son trabajos originales y cuyos resultados -aunque parciales- es importante difundir rápidamente. También entran en esta categoría la descripción de nuevas especies y cultivares, plagas, enfermedades y ajustes de metodologías.

Las revisiones serán elaboradas por especialistas destacados en las disciplinas que se abordan en la Revista. Las mismas serán solicitadas por el Comité Editorial y no deberán superar las veinte páginas.

Declaración de originalidad: los artículos deberán ser originales y no pueden ser presentados simultáneamente en otra revista para su publicación.

A partir del 1 de enero de 2016, para los autores extranjeros, cada página diagramada en blanco y negro, tendrá un costo de 30 dólares, la página a color 50 dólares y la página extra 70 dólares. Para los autores nacionales, los valores serán de 20, 40 y 60 dólares respectivamente. Se recomienda ajustarse al número de páginas establecido.

Los autores de los trabajos podrán pertenecer tanto a la institución editora como a otras facultades, centros de investigación u organismos en los cuales se lleven a cabo investigaciones vinculadas con las temáticas mencionadas precedentemente.

El material, acompañado de una nota solicitando su publicación, será remitido al Centro de Ediciones Académicas, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO, Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB, de acuerdo con el modelo establecido para tal fin (Descargar nota modelo).

Deberá enviarse una copia impresa en tamaño A4, a doble espacio, escrita en una sola carilla con tipografía Cambria, cuerpo 10 (los datos de: figuras, tablas y mapas deben escribirse con igual tipografía).

Las líneas deberán enumerarse en el margen izquierdo.

Las páginas estarán numeradas arriba y a la derecha. Asimismo, es imprescindible disponer del archivo electrónico del trabajo, elaborado en procesador de texto Word. Si mediaran razones de distancia geográfica significativa, podrá obviarse el envío postal y se aceptará el envío del artículo sólo a través de la siguiente cuenta de correo electrónico: ccea@fca.uncu.edu.ar

Cada trabajo será sometido a referato: los especialistas (al menos dos), de reconocida trayectoria tanto en el ámbito nacional como internacional, recibirán dicho trabajo y la correspondiente planilla de evaluación. Su función consistirá en revisar críticamente el material presentado y dictaminar respecto de su publicación. El autor puede sugerir algunos evaluadores, quienes podrían ser considerados por el Editor en el proceso de evaluación. El origen de los evaluadores es externo al Comité Editorial, de procedencia nacional e internacional y el sistema de evaluación es "doble ciego". La pertinencia del original es decidida por el Comité Editorial en tanto que su aceptación o rechazo

depende del dictamen de los evaluadores o del incumplimiento de la exigencia de originalidad del trabajo. Asimismo, el Editor devolverá a los autores, sin pasar por el proceso de arbitraje, aquellos manuscritos que no se ajusten a las normas de presentación de la Revista.

Para conferir unidad a la publicación, el Centro de Ediciones solicitará, de ser necesario, modificaciones en el título, hará correcciones de estilo y llevará a cabo el diagramado. Concluida esta etapa, se le enviará al primer autor de cada trabajo el PDF para su revisión. Dicho proceso de revisión no deberá superar los siete días corridos. Una vez impresa la Revista, al primer autor de cada artículo se le entregarán diez separatas.

Los trabajos, redactados con lenguaje claro, preciso, deberán exponer con rigor científico los contenidos y no podrán apartarse de las indicaciones que a continuación se consignan:

Título: En español y en inglés, con una extensión no superior a las veinte palabras. Asimismo, se requiere el título abreviado que resulta necesario para el diagramado.

Autores: Nombres y apellidos completos, pertenencia institucional, dirección postal y correo electrónico del primer autor.

Resumen: En español y en inglés (abstract), con una extensión máxima de doscientos vocablos. De modo conciso y breve se planteará el tema del trabajo, la metodología, los resultados y las conclusiones. No deberán incluirse antecedentes del tema a tratar, ilustraciones ni citas bibliográficas.

Palabras clave: En español y en inglés (keywords): se recomienda consultar los tesauros específicos.

Introducción: Deberá ser concisa, incluirá una revisión sintética del conocimiento del tema a la fecha, con las citas específicas que respaldan ese conocimiento y establecerá los aspectos aún no resueltos. Explicitará los objetivos e hipótesis tendientes a favorecer la claridad conceptual del trabajo.

Materiales y métodos: Se expondrá el diseño experimental, la toma de muestras y su tratamiento estadístico de forma tal que permita la reproducción del ensayo a otros investigadores.

Tablas: El título, en español y en inglés, debe ubicarse arriba de las mismas. Cada una debe ser autoexplicativa, vale decir que no exigirá leer el artículo para entenderla. No debe repetirse la misma información en tablas y figuras. No incluir en la tabla ninguna información que no se discuta en el texto. Deberán presentarse en formato MS Word, no como imagen. Cada campo o dato deberá separarse con tabulaciones, nunca con la barra espaciadora. El ancho total no debe exceder los 15 cm. Si hubiera referencias al pie, estas deberán estar en español y en inglés.

Figuras: El título, en español y en inglés, debe ubicarse debajo de las mismas. Si hubiera referencias al pie, deberán estar en español y en inglés. Deben ser autoexplicativas y se evitará la repetición de la información contenida en las tablas. Si la figura fue elaborada en Excel, Corel Draw, Statistica para Windows, etc., además de la versión en el procesador de textos, enviar el archivo original por separado. Otra posibilidad es enviar el archivo en formato Windows Metafile (wmf).

Fotos: Sólo deben incluirse si proveen información que favorezca la comprensión del artículo. Deben ser nítidas, con alto contraste. Deben ser enviadas como archivos electrónicos tif o jpg, con no menos de 300 ppp. Si se dispone de foto en papel, enviar con el original; al publicar el artículo serán devueltas al autor.

Mapas: Sólo deben incluirse si proveen información esencial para entender el artículo.

En el diagramado, se procurará que tanto las figuras que requieran color, las fotos color o los mapas en color se ubiquen en una página. Cabe señalar que de este modo se tiende a disminuir el costo que deberán asumir los autores por cada página color (40 dólares por cada una).

Resultados: Deberán presentarse en forma clara y concisa, utilizando tablas y figuras y destacando los aspectos más relevantes del trabajo.

Discusión: Interpretación de los resultados, con especial énfasis en coincidencias o diferencias con el marco teórico. Es opcional la autonomía de esta sección ya que puede formar junto con Resultados una sola estructura conceptual.

Conclusiones: Deben ser sintéticas y reflejar hallazgos, soluciones y/o aplicaciones concretas. Deben responder a los objetivos e hipótesis del trabajo.

Bibliografía: Deberá constar en el listado bibliográfico toda referencia citada en el texto. Se adoptará un sistema alfa-numérico, con listado ordenado alfabéticamente por el primer autor. En virtud de ello, en el texto la cita aparecerá con el número que tiene en el listado bibliográfico; dicho número se escribirá en el texto entre paréntesis.

Cada cita bibliográfica deberá constar de los siguientes datos (consultar ejemplos):

- Número correspondiente a la cita.
- Apellido e iniciales de los autores.
- Año de edición de la publicación. Se indicarán las posteriores a la inicial; por ej.: 2001. 3ra ed.
- Título completo de la publicación, en el idioma original. Si fuera una revista, primero se consignará el título del artículo y a continuación el nombre de la Revista, el volumen y/o número y las páginas del artículo.
- Ciudad de edición (país en caso necesario).
- Editorial.
- Cabe señalar que cuando se trate de una comunicación personal, se citará en el texto la fuente (nombre de la persona y año) pero no se incluirá en el listado bibliográfico.
- Para citas tomadas de Internet: autor, año, título, URL (dirección: <http://www...>).
- Fecha de consulta.

Agradecimientos: Se hará una mención breve y concisa a cada persona o institución merecedora de dicho reconocimiento.

Los nombres científicos completos serán citados en su primera mención, luego podrá usarse solamente la inicial del género más la especie, sin agregar el clasificador. El nombre común deberá estar acompañado por el nombre científico en la primera mención. Las locuciones latinas deberán ir en itálica o cursiva (ej.: et al., in vitro).

Se podrán utilizar símbolos químicos en el texto (Ej.: N por nitrógeno), pero no podrán emplearse las fórmulas químicas sino el nombre correspondiente (Ej.: agua y no H₂O). Se podrán utilizar abreviaturas de uso habitual, como ATP, ADN, etc.

Cuando en el texto se mencionen cantidades, se expresarán en letra del cero al nueve, excepto cuando estén acompañados de unidades de medida o se incluya números más grandes (Ej.: 2, 7 y 25 muestras). En idioma español los decimales se indican con coma y con punto en inglés.

Se recomienda a los autores revisar la lista de control que figura en la página Web:
<http://revista.fca.uncu.edu.ar>
para verificar que se haya cumplido con todos los requisitos señalados.