

ECOFISIOLOGÍA Y MANEJO DE CULTIVOS

Effect of the application of nematophagous fungus *Purpureocillium lilacinum* over nutrients availability on agricultural soil and yield of *Avena sativa*. *Efecto de la aplicación del hongo nematófago Purpureocillium lilacinum sobre la disponibilidad de nutrimentos en un suelo agrícola y el rendimiento de Avena sativa.* T. Hernández-Leal, D. López-Lima, G. Carrión. p. 1.

Efecto residual provocado por dos lodos de depuradora procedentes de un ensayo de fitorremediación con cardo en un cultivo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) en Madrid. *Residual effect of two sewage sludges from a phytoremediation test with thistle on camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) in Madrid.* M. del M. Delgado, C. Lobo, A. Plaza, A. Capuano, G. Hernando, J. Prieto, R. Miralles de Imperial, J. Valero Martín. p. 13.

Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. *Production and nutrimental quality of cowpea pods, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, as function of topological arrangement and fertilization type.* P. Apáez Barrios, J. A. S. Escalante Estrada, E. Sosa Montes, M. Apáez Barrios, M. T. Rodríguez González, Y. A. Raya Montaña. p. 31.

Respuesta de diferentes variedades de cítricos a los daños causados por fuertes heladas en la región central de Santa Fe. *Response of some Citrus species to frost damage at the central area of Santa Fe, Argentina.* N. G. Micheloud, D. C. Castro, M. A. Favaro, M. A. Buyatti, R. A. Pilatti, N. F. Gariglio. p. 43.

Comportamiento productivo de praderas con distintas combinaciones de ovilla (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Productive performance of grasslands with different combinations of orchard grass (*Dactylis glomerata* L.), perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.).* (Nota científica). A. R. Rojas García, A. Hernández Garay, W. Ayala, S. I. Mendoza Pedroza, S. J. Cancino, H. Vaquera Huerata, M. A. S. Ortega. p. 57.

Leaf expansion and leaf turnover of perennial C4 grasses growing at moderately low temperatures. *Expansión y recambio foliar de gramíneas perennes C4 creciendo a temperaturas moderadamente bajas.* G. D. Berone. p. 69.

Evaluación de un panel para recuperación de deriva en aplicaciones fitosanitarias en viñedos. *Evaluation of a drift recovery panel for phytosanitary treatments in vineyards.* A. O. Ambrogetti, E. M. Uliarte, M. A. Montoya, W. Haist, R. F. del Monte. p. 83.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Specific surface of oxisols and its relationship with water retention.* H. A. Ruiz, G. O. Sarli, C. E. Gonçalves Reynaud Schaefer, R. R. Filgueira, F. Silva de Souza. p. 95.

Evaluación de la aplicación de biosólidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, en Chile central. *Monitoring of biosolid application trials in *Eucalyptus globulus* plantation, in Central Chile.* S. Donoso, K. Peña-Rojas, E. Galdames, C. Pacheco, C. Espinoza, S. Durán, R. Gangas. p. 107.

ECONOMÍA Y POLÍTICA AGRARIA

Reparto regional en España de la ayuda agrícola según la Organización Mundial de Comercio (2002-2010). *Regional distribution in Spain of the agricultural aid by the World Trade Organization (2002-2010).* S. A. González-Moralejo, J. M. García Álvarez-Coque. p. 121.

Acceptance of beef obtained through genetic modification and cloning in university students and working adults in southern Chile. *Aceptación de carne bovina obtenida a través de modificación genética y clonación por parte de estudiantes universitarios y adultos que trabajan en el sur de Chile.* B. Schnettler, C. Velásquez, G. Lobos, L. Orellana, J. Sepúlveda, N. Salinas-Oñate, C. Adasme-Berrios, K. G. Grunert. p. 141.

Perfiles basados en actitudes hacia los programas de apoyo público de microempresarios rurales de la zona central de Chile. *Profiles based on attitudes toward public support programs of rural micro entrepreneurs of central Chile.* S. Boza, G. Marcos, M. Cortés, M. Mora. p. 161.

Análisis preliminar de la percepción de los trabajadores del campo acerca del sistema de formación continua en la Región de Murcia. *Preliminary analysis of farm workers perception about continuous education system in the Region of Murcia.* D. B. López Lluch, J. L. Zapata, F. J. del Campo Gomis. p. 177.

Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas. *Urban trees appraisal, comparison of formulas.* M. Ponce-Donoso, Ó. Vallejos-Barra. p. 195.

PROTECCIÓN VEGETAL

Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México. *Spatial distribution of gladiolus rust (*Uromyces transversalis*) during spring-summer cycle in the southeast region of the state of Mexico.* R. Quiñones-Valdez, J. Ricardo Sánchez-Pale, A. K. Pedraza-Esquivel, A. Castañeda-Vildozola, O. Franco-Mora. p. 209.

REVISIÓN

Dust storms, drought and desertification in the Southwest of Buenos Aires Province, Argentina. *Tormentas de polvo, sequía y desertificación en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.* E. M. Abraham, J. C. Guevara, R. J. Candia, N. D. Soria. p. 221.

Normas para la presentación de artículos. p. 243.

Nº 2 Año 2016

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias

Tomo 48



Tomo 48
Nº 2 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
Diciembre 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 ECHANGE	<input type="checkbox"/>	DONACIÓN GIFT DONATION	<input type="checkbox"/>	SUSCRIPCIÓN SUBSCRIPTION SOUSCRIPTION	<input type="checkbox"/>
REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS						
Vol.: 48 N°: 2 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

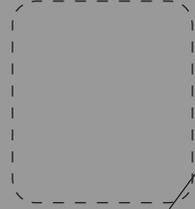
PARA SUSCRIBIRSE, COMPLETAR ESTE FORMULARIO
TO SUBSCRIBE, COMPLETE THIS FORM
POUR FAIRE LA SOUSCRIPTION, COMPLÉTER CE FORMULAIRE

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

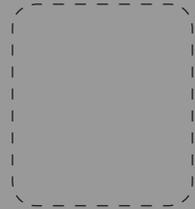


Tarjeta Postal
Post Card
Carte Postale



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

Dra. Lone Aagesen - Instituto Darwinion
Dr. Pablo Abbate - INTA
Dr. Roberto Alvarez - UBA
Lic. Claudia Amadio - UNCuyo
Dr. Adrián Andriulo - INTA
Dr. Norberto Angel - INTA
Dr. Jorge Angelini - UNRío Cuarto
Dr. Cosme Argerich - INTA
Dra. Lorena Bárbaro - INTA
Dr. Ignacio Barberis - UNRosario
M. Sc. Mónica Bauzá - UNCuyo
M. Sc. Roberto Borgo - UNCuyo
Dra. Laura Borrelli - INTA
Dr. Carlos Bouzo - UNLitoral
Dra. Sofía Boza - UChile
Ing. Agr. Angela Burgos - UNNE
Dr. Adrián Silva Busso - INA
Dr. Juan Bustamante - UNCuyo
Dra. María Victoria Campanella - CENPAT
Ing. Dora Carmona - INTA
Dr. Ricardo A. Castro Huerta - UC del Maule
Dr. Salvador Cayuela Sánchez - UCastilla-La Mancha
Lic. Eduardo Comellas - INA
Dra. Lucrecia Couretot - INTA
Dr. Carlos Cowan Ros - UBA
Dra. María Agueda Cúndom - UNNE
Dra. Marta Dardanelli - UNRío Cuarto
Dr. Omar Del Ponti - UNLa Pampa
Dr. Roberto De Rossi - UCatólica de Córdoba
Dr. Adalberto Di Benedetto - UBA
Dra. Beatriz Dillon - UNLa Pampa
Dra. Cinnamon Dobbs - Pontificia UCatólica de Chile
Dr. Alfonso Dominguez Padilla - UCastilla-La Mancha
Dra. Alejandra Engler Palma - UTalca
Dr. José Espinoza Velázquez - UAAgraria Antonio Narro
Lic. Martín Fanzone - INTA
Dra. Sandra Feijóo - UNPatagonia San Juan Bosco
Dr. Diego Fernández - UBA
Dr. Claudio Galmarini - UNCuyo
Dra. Mariana Garbi - UNLa Plata
Dr. Matías García - UNLa Plata
Dra. Aurora Susana García Medina - INTA
Dr. Sergio Garrán - INTA
Ing. Agr. Julio Gaviola - NTA
M. Sc. Carlos Godoy - UN de Mar del Plata
Dra. Roxana González - INTA
Dr. Fernando Ramos Gourcy - UA de Aguascalientes
Dra. Silvina Greco - UNCuyo
Dr. Eduardo Grünwaldt - IADIZA
Dr. Diego Gurvich - UNCórdoba
Dra. Patricia Hashimoto - ULomas de Zamora

Ing. Agr. Leandra Iburguren - UNCuyo
M. Sc. Alicia Justo - INTA
Dra. Dolores Letellier - UNCuyo
M. Sc. Víctor Lipinski - UNCuyo
Dra. Alicia López - Instituto Darwinion
Ing. Agr. Gladis Lori - UNLa Plata
Dr. Antonio Magalhaes - Asesor del CGEE, Brasil
Dra. Rosana Noemí Malpassi - UNRío Cuarto
Dra. Liliana Marbán - UBA
Dr. Hector Marti - INTA
Dra. Laura Martínez - INTA
Dr. Eduardo Martínez Carretero - CONICET
Ing. Agr. Marcelo Martinotti - UNCuyo
Dr. Diego Meloni - UNNE
Ing. José Patricio Molina - INTA
Dra. Pilar Montesinos Barrios - UCórdoba de Madrid
Dr. Marcos Mora - UChile
Dr. César Morales - Asesor de CEPAL
Ing. Vilma Inés Morata de Ambrosin - UNCuyo
Dr. Víctor Moreira - UAustral de Chile
Dra. Stella Moreiras - UNCuyo
Dra. Laura Noe - UNCórdoba
M. Sc. Roberto Pacheco - INTA
Dr. Ricardo Pérez Valenzuela - UNCuyo
Dr. Mauricio Pinto - UNCuyo
Ing. José Portela - INTA
Dr. Guillermo Pratta - CONICET/UNR
Dr. Jorge Prieto - INTA
Dra. Dolores Raffo Benegas - INTA
M. Sc. Ignacio Ramírez - UBA
M. Sc. Cecilia Reborá - UNCuyo
Prof. Gabino Reginato - UChile
Dra. Marta Rivera - UBA
M. Sc. Pedro Rizzo - IMYZA/INTA
Ing. Lia Ronco - UNLa Plata
Dra. Carmen Saenz - UChile
M. Sc. Alicia Sáenz - UNLa Pampa
Dr. Jaime Sahagún Castellanos - UAChapingo, México
Dra. María Victoria Salomon - UNCuyo
Dra. Mercedes Sánchez - Universidad de Navarra
M. Sc. Ana Scoones - UNCuyo
M. Sc. Ing. Agr. Mario Slukwa - INTA
Dra. Cristina Somma - UNRío Cuarto
Dra. Elena Spadoni - UNCuyo
Dra. Edith Taleisnik - INTA
M. Sc. María Eugenia Toselli - UNSantiago del Estero
Ing. Mehmet Ulaş - Estación de Invest. Oleícola, Turquía
Dr. Martín Uliarte - INTA
Dr. Ernesto Viglizzo - INTA
M. Sc. Patricia Winter - UNCuyo

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo

TOMO 48(2) - DICIEMBRE 2016

ÍNDICE

ECOFISIOLOGÍA Y MANEJO DE CULTIVOS

Effect of the application of nematophagous fungus *Purpureocillium lilacinum* over nutrients availability on agricultural soil and yield of *Avena sativa*

*Efecto de la aplicación del hongo nematófago *Purpureocillium lilacinum* sobre la disponibilidad de nutrimentos en un suelo agrícola y el rendimiento de *Avena sativa**

T. Hernández-Leal, D. López-Lima, G. Carrión. 1

Efecto residual provocado por dos lodos de depuradora procedentes de un ensayo de fitorremediación con cardo en un cultivo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) en Madrid

*Residual effect of two sewage sludges from a phytoremediation test with thistle on camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) in Madrid*

M. del M. Delgado, C. Lobo, A. Plaza, A. Capuano, G. Hernando, J. Prieto, R. Miralles de Imperial, J. Valero Martín. 13

Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización

*Production and nutrimental quality of cowpea pods, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, as function of topological arrangement and fertilization type.* P. Apáez Barrios, J. A. S. Escalante Estrada,

E. Sosa Montes, M. Apáez Barrios, M. T. Rodríguez González, Y. A. Raya Montaña. 31

Respuesta de diferentes variedades de cítricos a los daños causados por fuertes heladas en la región central de Santa Fe

Response of some Citrus species to frost damage at the central area of Santa Fe, Argentina. N. G. Micheloud, D. C. Castro, M. A. Favaro, M. A. Buyatti, R. A. Pilatti, N. F. Gariglio. 43

Comportamiento productivo de praderas con distintas combinaciones de ovilla (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.)

*Productive performance of grasslands with different combinations of orchard grass (*Dactylis glomerata* L.), perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.).* (Nota científica). A. R. Rojas

García, A. Hernández Garay, W. Ayala, S. I. Mendoza Pedroza, S. J. Cancino, H. Vaquera Huerata, M. A. S. Ortega. 57

Leaf expansion and leaf turnover of perennial C4 grasses growing at moderately low temperatures
Expansión y recambio foliar de gramíneas perennes C4 creciendo a temperaturas moderadamente bajas
G. D. Berone. 69

Evaluación de un panel para recuperación de deriva en aplicaciones fitosanitarias en viñedos
Evaluation of a drift recovery panel for phytosanitary treatments in vineyards
A. O. Ambrogetti, E. M. Uliarte, M. A. Montoya, W. Haist, R. F. del Monte. 83

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica
Specific surface of oxisols and its relationship with water retention. H. A. Ruiz, G. O. Sarli,
C. E. Gonçalves Reynaud Schaefer, R. R. Filgueira, F. Silva de Souza. 95

Evaluación de la aplicación de biosólidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, en Chile central
Monitoring of biosolid application trials in Eucalyptus globulus plantation, in Central Chile
S. Donoso, K. Peña-Rojas, E. Galdames, C. Pacheco, C. Espinoza, S. Durán, R. Gangas.107

ECONOMÍA Y POLÍTICA AGRARIA

Reparto regional en España de la ayuda agrícola según la Organización Mundial de Comercio (2002-2010)
Regional distribution in Spain of the agricultural aid by the World Trade Organization (2002-2010)
S. A. González-Moralejo, J. M. García Álvarez-Coque. 121

Acceptance of beef obtained through genetic modification and cloning in university students and working adults in southern Chile
Aceptación de carne bovina obtenida a través de modificación genética y clonación por parte de estudiantes universitarios y adultos que trabajan en el sur de Chile. B. Schnettler, C. Velásquez, G. Lobos,
L. Orellana, J. Sepúlveda, N. Salinas-Oñate, C. Adasme-Berríos, K. G. Grunert. 141

Perfiles basados en actitudes hacia los programas de apoyo público de microempresarios rurales de la zona central de Chile.
Profiles based on attitudes toward public support programs of rural micro entrepreneurs of central Chile
S. Boza, G. Marcos, M. Cortés, M. Mora. 161

Análisis preliminar de la percepción de los trabajadores del campo acerca del sistema de formación continua en la Región de Murcia
Preliminary analysis of farm workers perception about continuous education system in the Region of Murcia
D. B. López Lluch, J. L. Zapata, F. J. del Campo Gomis. 177

Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas

Urban trees appraisal, comparison of formulas

M. Ponce-Donoso, Ó. Vallejos-Barra. 195

PROTECCIÓN VEGETAL

Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México

Spatial distribution of gladiolus rust (Uromyces transversalis) during spring-summer cycle in the southeast region of the state of Mexico

R. Quiñones-Valdez, J. Ricardo Sánchez-Pale, A. K. Pedraza-Esquivel, A. Castañeda-Vildozola, O. Franco-Mora. 209

REVISIÓN

Dust storms, drought and desertification in the Southwest of Buenos Aires Province, Argentina

Tormentas de polvo, sequía y desertificación en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina

E. M. Abraham, J. C. Guevara, R. J. Candia, N. D. Soria. 221

Normas para la presentación de artículos. p. 243

Effect of the application of nematophagous fungus *Purpureocillium lilacinum* over nutrients availability on agricultural soil and yield of *Avena sativa*

Efecto de la aplicación del hongo nematófago *Purpureocillium lilacinum* sobre la disponibilidad de nutrientes en un suelo agrícola y el rendimiento de *Avena sativa*

Tania Hernández-Leal ¹, Daniel López-Lima ², Gloria Carrión ¹

Originales: *Recepción:* 01/09/2015 - *Aceptación:* 22/03/2016

ABSTRACT

In the present work the application effect of nematophagous fungus *Purpureocillium lilacinum* over the availability of soil nutrients and the yield of oats plants, using an agricultural soil was evaluated. Two experiments were conducted under greenhouse conditions, one with soil in natural conditions and other with autoclaved soil. In each experiment were handled two treatments with 20 replicates in a completely randomized design; one with the application of *P. lilacinum* and the other without the fungus application as a control. The soil chemical characteristics: pH, C, N, P, K, Ca, Fe, Cu and Zn were analyzed at the beginning and at the end of the experiment. The variables evaluated on oat plants were: height, fresh and dry weight, nutrients, number of spikelets per plant and the spikelets weight. There were no significant differences between treatments in plants height, the nutrient content of the soil and plants in both treatments, neither in fresh and dry weight in the experiment with natural conditions soil. The positive effect of fungus application was reflected on the greater fresh and dry weight in the experiment with autoclaved soil and the greater number and weight of spikelets of oat plants in both experiments.

Keywords

soil fertility • phosphorous • filamentous fungi

-
- 1 Instituto de Ecología Asociación Civil. Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa, 91070, Veracruz México. gloria.carrion@inecol.mx
 - 2 Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100, Toluca 50000, Estado de México, México.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la aplicación del hongo nematófago *Purpureocillium lilacinum* sobre la disponibilidad de nutrimentos del suelo y el rendimiento de plantas de avena, utilizando un suelo agrícola. Se realizó dos experimentos bajo condiciones de invernadero, uno con suelo en condiciones naturales y otro con suelo esterilizado en autoclave. En cada experimento se manejó dos tratamientos con 20 repeticiones en un diseño completamente aleatorizado; uno con la aplicación de *P. lilacinum* y el otro sin aplicación del hongo como control. Las características químicas del suelo: pH, C, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu y Zn fueron analizadas al inicio y final del experimento. Las variables evaluadas en las plantas de avena fueron: altura, peso fresco y seco, contenido de nutrimentos, número de espiguillas por planta y el peso de espiguillas. No hubo diferencias significativas entre tratamientos en la altura, contenido de nutrimentos del suelo y de las plantas en ambos tratamientos, ni en peso fresco y seco en el experimento con suelo en condiciones naturales. El efecto positivo de la aplicación del hongo se reflejó en el mayor peso fresco y seco en el experimento con suelo esterilizado y en el mayor número y peso de espiguillas por planta en ambos tratamientos.

Palabras clave

fertilidad del suelo • fósforo • hongos filamentosos

INTRODUCTION

In the conventional agriculture, one of the main issues is to provide the crops with the available phosphorus, which has been compensated with the continuous application of fertilizers (42). The phosphorous (P) after the nitrogen, it is the most important nutrient for the plants and they only can absorb it in orthophosphates form. In nature, most of the soils have a vast reserve of organic and inorganic phosphorus forms (40). Nevertheless, most part of P is not available for the plants, because it forms insoluble compounds with iron and aluminum in acid soils and with calcium in alkaline soils (5, 20). In soils with high fixation capacity, when P contained within the fertilizers passes to the soil solution, it is fixed in the mineral fraction, without being available for the plants. Besides, when the fixation capacity of the soil has been saturated, the

excess of phosphorus is leached towards underground waters, turning into a contamination source (16, 40).

Although there are many saprobes fungi in the soil able to phosphate solubilizing (19), it is not enough to supply the demand for nutrients of the crop. Some species of saprophytic fungi like *Penicillium* spp. and *Aspergillus* spp. have been studied with agricultural interest for their capacity of solubilizing phosphate compounds, improving the P availability in the soil and consequently enhancing crops yield (29, 35). These fungi affect directly the minerals solubilization and the release of cations like Fe^{2+} , $^{3+}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} and Sr^{2+} , by the secretion of organic acids or proton liberation H^+ (22, 23). Another species of fungi, used in the agricultural systems as phytoparasitic nematodes control

agents, are facultative saprophytes and take part in organic matter degradation and there its importance in nutrients cycling, like nitrogen and carbon (8). Some works concerning laboratory and greenhouse with *Arthrobotrys oligospora* Fres. have demonstrated the effect of this nematophagous fungus on the availability of the P using phosphoric rock (13).

Purpureocillium lilacinum (Thom) Luangsa-ard, Houbraken, Hywel-Jones & Samson (= *Paecilomyces lilacinus*) is known since 1970's as a biological control agent of several phytoparasitic nematodes (27, 30). Also its solubilizing activity of inorganic forms of P is known and was evaluated *in vitro*, like calcium and iron phosphates (21).

However, the application of this fungus in the field had generated questions about its function in the agrosystem, because the previous observations (unpublished data) of a better development in oats plants grown (height, fresh and dry weight) in soil treated with *P. lilacinum*, applied to mitigate the levels of the phytoparasitic nematode populations. The aim of this work was to evaluate in greenhouse the effect of an application of *P. lilacinum*, on the availability of phosphorus, calcium and iron in an agricultural soil and its influence on the yield of oats plants (*Avena sativa*).

MATERIALS AND METHODS

Soil sampling

The soil used in this study was collected in the rural village of Los Pescados, located in the municipality of Perote, Veracruz, Mexico (19°34'41" N, 97°9'30" W, altitude 2.946 m), where the dominant soils are humic, mollic and

haplic phaeozem andosols (24). Four soil samples (10 Kg each) were taken from potato crop rows at a depth of 10-15 cm in a plot of 2 ha. In the laboratory the soil was dried and sieved with a 5 mm mesh, in order to remove large organic and mineral particles. Subsequently, it was mixed with sterile perlite at a ratio of 1:1 in order to avoid soil compaction. Soil texture was a sandy clay loam (sand = 63%, silt = 15% and clay = 22%) according to Bouyoucos method.

Microorganism

In this study one strain of *P. lilacinum* (IE-430) was employed, which it is native of the study area and was isolated from juveniles J2 of the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (Woll. 1923) Skarbilovich, 1959. This fungus was cultivated on oatmeal-agar plate during three weeks before its use.

Experimental design

Two experiments were carried out, the first one with soil under natural conditions (NS) and the second one with autoclaved soil (AS).

Two treatments were applied in each of both experiments: 1) with *P. lilacinum* inoculated to soil (F), and 2) without fungus (C), as a control. All experiments were conducted simultaneously and distributed in a completely randomized design, under greenhouse conditions (natural light and 30±3°C). For ASF and ASC treatments, soil was sterilized in autoclave, into plastic bags for one hour at 121°C, then cooled at room temperature. This process was repeated.

Each treatment had 20 replicates, which consisted of polyethylene pots (1 kg capacity) with 1000 cm³ of soil-perlite substrate.

For NSF and ASF pots, 200 mL of *P. lilacinum* spore suspension (1×10^6 spores ml^{-1}) prepared with sterile distilled water were added so the applied dose was 2×10^8 spores pot^{-1} .

For the controls (NSC and ASC), the same amount of sterile distilled water was added. Three oat seeds (*cv.* Chihuahua) previously disinfected with a 1% sodium hypochlorite solution were planted in each pot. Once the plants emerged, two were selected for each pot removing the other one. The plants were watered (85 mL per pot) every 72 h.

Soil chemical characterization

Before applying the fungus and 14 weeks later, rizosphera soil samples were taken from five pots (200 g) of each treatment.

The following chemical analyses were made for each soil sample: pH was measured in water (1:2 w/v) using a potentiometer (Jenco Electronics Ltd., Model 1671, USA). Inorganic nitrogen (nitrate NO_3^- and ammonium NH_4^+) was extracted with potassium chloride (KCl 2N) and quantified with the micro-Kjeldahl technique. Phosphorus was measured according to Bray and Kurtz 1 methodology with a spectrophotometer at 882 nm (Spectronic 21D, Milton Roy, USA). Exchangeable bases (K, Ca, Mg and Na) were extracted with ammonium acetate ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N pH7), and their concentration of potassium and sodium was determined by flame photometry (Flame Photometer 410, Corning, UK) and concentration of calcium and magnesium by atomic absorption (AA-6501 Shimadzu, Japan).

The extraction of microelements (Fe and Cu) was achieved with DTPA and its quantification was carried out by atomic absorption. The percentage of organic carbon and organic nitrogen was determined using the C/N TruSpec analyzer (LECO, USA). Aluminum was determined

by the technique of exchangeable acidity, accomplishing extraction with potassium chloride (KCl 1M) and titration with sodium hydroxide (NaOH 0.1 M) and hydrochloric acid (HCl 0.1 M) (37). Reference values from SEMARNAT (2002) were consulted for interpreting soil tests according to Fassbender and Bornemisza (1987) for assessing organic carbon content. In the autoclaved soil treatments, tests were performed after the sterilization process.

Yield and nutrient content evaluation in oat plants

At the end of the experiment (after 14 weeks) height, fresh and dry weight (root and stem) and number of spikelets plant^{-1} of all oat plants and weight of 200 spikelets per treatment were evaluated. After that, the oat plants corresponding to the pots where soil samples were taken to determine nutrient content were selected. These plants were dried in an oven at 70°C for 24 h and were ground up in order to quantify their nutrients content. The carbon and nitrogen were evaluated using a C/N TruSpec analyzer.

For phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, iron and copper a dissolving technique involving digestion with perchloric acid (HClO_4) and nitric acid (HNO_3) was used. Each element was analyzed from the acidic matrix. For phosphorus, we used a colorimetric method using phosphovanadomolybdic complexes and reading was performed with a spectrophotometer at 470 nm.

The contents of potassium and sodium were measured using a flame photometer. In the case of calcium, magnesium, iron and copper, atomic absorption spectrophotometry and flame emission were applied.

Statistical analysis

Differences between final and initial amounts of most nutrients in all treatments were calculated and statistically tested. Inorganic nitrogen and magnesium were depleted at the end of the experiment, so their data was only analyzed in the first sampling.

For magnesium, potassium and inorganic nitrogen, the statistical analysis was performed only on samples with detectable nutrients.

The data expressed as a percentage were transformed by applying the function arccosine. NSF and NSC treatments were compared between them, and likewise ASF and ASC treatments. In order to determine differences between treatments in terms of the nutrient content of soil, plant and crop yield, the Student's t test was used, if the samples had the norms for normality and homogeneity of variances. Otherwise, we applied the non-parametric Mann-Whitney U test ($p < 0.05$). All analyses were performed using the MINITAB 14 and Statistica 8.0 program for Windows.

RESULTS

Chemical characteristics of Soil

At the beginning of the experiments, the pH of NS (NSF, NSC) and of AS (ASF, ASC) treatments was strongly and moderately acidic respectively. At the end of the study a tendency of slight increase was found in all treatments, without presenting any significant differences. In the NS experiment, NSF treatment had a medium level (20-40 mg kg⁻¹) of initial inorganic nitrogen (NO₃-NH₄), whereas NSC nitrogen level was high (40-60 mg kg⁻¹), according to reference values from SEMARNAT (2002). Therefore, differences were found in inorganic nitrogen concentration ($t = -4.36$, $p = 0.002$) between NSF and

NSC. In the experiment AS, control (ASC) and fungus treatments (ASF) had medium and high level of initial inorganic nitrogen, respectively. Thus, ASF and ASC showed significant differences in ammonium concentration ($t = 2.69$, $p = 0.027$) at the beginning of the experiment. Potassium level was low (0.2-0.3 cmol₍₊₎ kg⁻¹ in soil) in both experiments at first sampling and was depleted in all treatments at the end of the experiments.

In both experiments (NS and AS), the amount of phosphorus was high (>30 ppm) and its concentration increased in all treatments, but no significant differences were registered between them (table 1, page 6 and table 2, page 7).

The calcium content of NS and AS treatments was very low (<2 cmol₍₊₎ kg⁻¹ in soil) in the initial and final sampling.

In AS, the calcium content decreased significantly in ASF (-0.36 cmol₍₊₎ kg⁻¹ in soil) compared with ASC (-0.14 cmol₍₊₎ kg⁻¹ in soil). In both experiments magnesium was not detected at the beginning, but it increased significantly ($t = -2.59$, $p = 0.031$) in NSC compared with NSF at the end of the experiment. Also was higher ($t = 3.03$, $p = 0.016$) in ASF (0.05 cmol₍₊₎ kg⁻¹) than in ASC (0.01 cmol₍₊₎ kg⁻¹). Copper and iron contents were adequate (Cu:>0.2 mg kg⁻¹; Fe:>4.5 mg kg⁻¹), in both samplings (initial and end) and in all treatments.

The concentration of copper at the end of experiment was lower ($t = -2.42$, $p = 0.04$) in ASF (0.56 mg kg⁻¹) than in ASC (0.68 mg kg⁻¹), while there were not differences between NS treatments. The concentration of active aluminum was less than 0.5 cmol kg⁻¹ in all treatments.

For both AS, and NS the percentage of carbon increased in all treatments, except for ASF.

Table 1. Soil chemical characteristics of the NSF and NSC treatments at the beginning and at the end of the experiment.**Tabla 1.** Características químicas del suelo de los tratamientos NSF y NSC al principio y al final del experimento.

Variable	Treatments						Statistic	p
	NS F			NS C				
	Start	End	End-Initial †	Start	End	End-Start †		
pH	4.71	4.82	+0.11±0.16	4.69	5.03	+0.34±0.16	t= -2.26	0.05
N (mg kg ⁻¹)	39.05	1.49	-37.6±9.01b	47.6	0.00	-47.6 ±3.02a	t= 2.36	0.04
P (mg kg ⁻¹)	32.86	36.07	+3.21±8.63	33.35	34.49	+1.14±9.51	t=0.36	0.73
K (cmol kg ⁻¹)	0.30	0.0	-0.30±0.01	0.29	0.0	-0.29 ±0.0	U= 10	0.60
Ca (cmol kg ⁻¹)	0.67	0.67	0.0±0.04	0.66	0.68	+0.02±0.03	t= -1.03	0.33
Mg (cmol kg ⁻¹)	0.0	0.03	+0.03±0.02b	0.0	0.08	+0.08±0.03a	t= -2.60	0.03
Na (cmol kg ⁻¹)	0.14	0.0	-0.14 ±0.02	0.13	0.0	-0.13 ±0.03	U= 11.5	0.83
Cu (mg kg ⁻¹)	0.29	0.74	+0.45±0.07	0.27	0.73	+0.46±0.06	t= -0.42	0.68
Fe (mg kg ⁻¹)	13.15	17.28	+4.13±2.31	13.06	16.40	+3.34±1.58	t=0.63	0.55
Al (cmol kg ⁻¹)	0.47	0.45	-0.02±0.04	0.42	0.43	+0.01±0.05	t= -0.86	0.41
% organic C	2.11	2.18	+0.07±0.26	1.97	2.14	+0.17±0.09	U=12	0.60
% organic N	0.18	0.18	0.0±0.0	0.14	0.15	+0.01±0.02	U= 12.5	1.00
C/N	11.91	12.28	+0.37±1.44	13.61	13.93	+0.32±1.36		

The data of beginning and end are averages of five replicates.

NSF = Natural Soil + *P. lilacinum*, NSC = Natural Soil Control.

Different letters in different columns indicate statistical difference ($p \leq 0.05$) among treatments according to Student's t or Mann Whitney U tests. †(+/-) Indicates the increase or decrease ± standard deviation of element between the first and the second assessment.

Los datos de inicio y final son promedio de cinco repeticiones.

NSF = Suelo Natural + *P. lilacinum*, NSC = Suelo Natural Control.

Letras diferentes en diferentes columnas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos de acuerdo con la prueba t de Student o U de Mann Whitney. † (+/-) indica el aumento disminución ± desviación estándar del elemento entre la primera y la segunda evaluación.

Treatments where *P. lilacinum* was applied (NSF and ASF) presented the same content of organic nitrogen at the beginning as at the end of the experiment. Control treatments (NSC and ASC) increased organic nitrogen percentage at the end of the study, but in neither case were significant differences between treatments observed (table 1; table 2, page 7).

The C/N relationship showed no variation between treatments and assessments.

Plants nutrient content and yield

The presence of *P. lilacinum* in soil did not significantly influence the content of nutrients in plants from the NS and AS treatments (table 3, page 7).

The elements N, P, K, Mg and Zn were at low-deficient levels in oat plants from both experiments (N <1.5%, P <0.15%, K <1.26-1.5%, Mg <0.15% and Zn <15 ppm), according to the reference values provided by Westfall *et al.* (1990) and Jones *et al.* (1991).

Table 2. Soil chemical characteristics of the ASF and ASC treatments at the beginning and at the end of the experiment.

Tabla 2. Características químicas del suelo de los tratamientos ASF y ASC al principio y al final del experimento.

Variable	Treatments						Statistic	p
	ASF			ASC				
	Start	End	End-Start †	Start	End	End-Start †		
pH	5.03	5.24	+0.21±0.11	5.12	5.40	+0.27±0.05	t= -1.23	0.25
N (mg kg ⁻¹)	52.96	0.25	-52.71±6.62	36.74	1.65	-34.08 ± 17.5	U= 2.0	0.03
P (mg kg ⁻¹)	40.33	45.18	+4.84 ±7.62	35.25	45.5	+11.25±9.34	t= -1.19	0.27
K (cmol kg ⁻¹)	0.26	0.0	-0.26	0.26	0.0	-0.26	U=11.5	0.83
Ca (cmol kg ⁻¹)	1.08	0.72	-0.36±0.05a	0.94	0.80	-0.14±0.11b	t= -3.85	0.00
Mg (cmolkg ⁻¹)	0.0	0.05	+0.05±0.03a	0.0	0.01	+0.01±0.01b	t= 3.03	0.02
Na (cmol kg ⁻¹)	0.45	0.02	-0.43±0.03	0.43	0.04	-0.39±0.02	U=5	0.12
Cu (mg kg ⁻¹)	0.24	0.56	+0.3±0.09b	0.23	0.68	+0.45±0.08a	t= -2.43	0.04
Fe (mg kg ⁻¹)	10.27	14.92	+4.65±2.93	10.14	13.92	+3.78±1.11	U=0.10	0.60
Al (cmol kg ⁻¹)	0.43	0.38	-0.05±0.10	0.42	0.36	-0.06±0.06	t=0.23	0.83
% organic C	1.94	1.9	-0.04±0.12	1.90	1.98	+0.08±0.11	U=8	0.35
% organic N	0.16	0.16	0.0±0.02	0.14	0.15	+0.01±0.02	U=8	0.35
C/N	12.19	11.58	-0.61±0.97	13.98	13.43	-0.54±1.11		

The data of beginning and end are averages of five replicates. ASF= Autoclaved Soil + *P. lilacinum*, ASC = Autoclaved Soil Control. Different letters in different columns indicate statistical difference (p<0.05) among treatments according to Student's t or Mann Whitney U tests. † (+/-) Indicates the increase or decrease ± standard deviation of element between the first and the second assessment.

Los datos de inicio y final son promedio de cinco repeticiones. ASF = Suelo Autoclavado + *P. lilacinum*, ASC = Suelo Autoclavado Control. Letras diferentes en diferentes columnas indican diferencias estadísticas (p<0,05) entre los tratamientos de acuerdo con la prueba t de Student o U de Mann Whitney. † (+/-) indica el aumento o disminución ± desviación estándar del elemento entre la primera y la segunda evaluación.

Table 3. Nutrient content in oat plants under different treatments.

Tabla 3. Contenido de nutrientes en las plantas de avena bajo diferentes tratamientos.

Nutrients	Treatments			
	NSF	NSC	ASF	ASC
% C	45.76±0.19	47.64±3.39	45.88±0.31	47.7±3.52
% N	1.20±0.03	1.25±0.13	1.29±0.03 b	1.44±0.12 a
% P	0.15±0.02	0.14±0.01	0.09±0.01	0.09±0.01
% K	1.49±0.2	1.57±0.09	1.35±0.09	1.44±0.06
% Ca	0.32±0.03	0.36±0.11	0.36±0.04	0.34±0.04
% Mg	0.08±0.0	0.10±0.0	0.09±0.0	0.10±0.0
% Na	0.86±0.05	0.94±0.06	1.06±0.09	1.01±0.04
Fe mg kg ⁻¹	79.98±20.1	72.73±15.14	80.07±21.27	92.31±28.28
Cu mg kg ⁻¹	5.84±2.07	5.51±2.09	4.61±1.07	4.19±0.53
Zn mg kg ⁻¹	13.21±1.84	12.98±3.75	10.75±2.33	10.59±1.51

The results are averages from five replicates ± standard deviation. NSF = Non-sterilized soil + *P. lilacinum*, NSC= Non-sterilized soil (control). ASF = Autoclaved soil + *P. lilacinum*, ASC = Autoclaved soil control. Different letters in the columns indicate the statistical difference (p = 0.05) between treatments (NSF-NSC) and (ASF-ASC) according to the Student's t or Mann Whitney U test.

Los resultados son el promedio de cinco repeticiones ± desviación estándar. NSF = Suelo Natural + *P. lilacinum*, NSC = Suelo Natural Control, ASF = Suelo Autoclavado + *P. lilacinum*, ASC = Suelo Autoclavado Control. Letras diferentes en las columnas indican la diferencia estadística (p = 0,05) entre los tratamientos (NSF-ASC) y (ASF-ASC) de acuerdo con la prueba t de Student o la prueba U de Mann Whitney.

The Ca and Fe content of the plants was enough (Ca = 0.2-0.5% and Fe = 40-150 ppm) in all treatments.

The level of Cu was sufficient in treatments NSF and NSC (5-25 ppm), whereas in ASF and ASC it was low (<5 ppm).

In NS experiment, NSF spikelets were heavier (>20%) than NSC ones ($U = 36267.5, p < 0.05$). Also, NSF treatment had more spikelets plant⁻¹ than NSC.

In contrast, NSF oat plants had a lower fresh weight ($U = 862, p = 0.011$) and dry weight ($U = 874.5, p = 0.014$) than in NSC plants.

There were no significant differences in plant height and number of spikelets between these treatments. In AS experiment, ASF treatment had greater fresh weight ($U = 938, p = 0.009$) and dry weight ($U = 1017.5, p = 0.024$) as well as number of spikelets per plant ($U = 112.5, p = 0.017$) and spikelet weight (9%) ($U = 42467, p = 0.04$), than in ASC. There was no difference in plant height between treatments (table 4).

DISCUSSION

Although the pH of the soil used in this study remains acid, the slight changes registered in a short time are interesting data to consider in the soil fertility, because a pH close to seven allows a greater availability in most of the essential nutrients for the plants (1, 31).

Our data concur with the published values (3.9 y 6.1) for the Perote municipality soils (6, 7, 17).

The low content of K, Ca, Mg and C in our experiment (15, 37) is related to the intensive farming of potato in the soil used in our experiments for more than 70 years.

In the soils of this region, chemicals characteristics such as the cation exchange capacity, the original carbon content, total nitrogen and exchangeable bases have progressively diminished due to soil use change, from forest to agricultural fields (7, 17).

Table 4. Yield of oat plants under different treatments.

Tabla 4. Rendimiento de las plantas de avena bajo diferentes tratamientos.

Variables	Treatments			
	NSF	NSC	ASF	ASC
Height (cm)	83.23±11.58	87.19±13.65	95.70±14.04	94.30±12.64
Fresh weight (g)	6.28±2.40 b	7.57±2.54 a	10.55±3.53 a	8.77±1.93 b
Dry weight (g)	1.75±0.65 b	2.14±0.84 a	2.65±1.03 a	2.24±0.60 b
Spikelets plant ⁻¹	8.62±3.49	7.20±4.75	10.54±6.24 a	8.05±4.07 b
Spikelet weight † (mg)	36.35±20.23 a	29.11±14.72 b	35.38±18.07 a	32.06±16.69 b

The results are averages from 20 replicates ± standard deviation. † average of 200 spikelets weighth. NSF = Non-sterilized soil + *P. lilacinum*, NSC= Non-sterilized soil control. ASF= Autoclaved soil + *P. lilacinum*, ASC = Autoclaved soil control. Different letters in the columns indicate the statistical difference ($p = 0.05$) between treatments (NSF-NSC) and (ASF-ASC) according to the Mann Whitney U test.

Los resultados son el promedio de 20 réplicas ± desviación estandar. † promedio del peso de 200 espiguillas. NSF = Suelo Natural + *P. lilacinum*, NSC = Suelo Natural Control, ASF = Suelo Autoclavado + *P. lilacinum*, ASC = Suelo Autoclavado Control. Letras diferentes en las columnas indican la diferencia estadística ($p = 0,05$) entre los tratamientos (NSF-ASC) y (ASF-ASC) de acuerdo con la prueba U de Mann Whitney.

The high concentrations of P registered at the beginning and end of the experiment (32-45 mg kg⁻¹) in comparison to the found (3 y 12 mg kg⁻¹) in the soils of the same study area (6), could be related with the application of granulated fertilizers in the farming fields as is the case of soil used in this experiment.

The lowest amount of P in ASF treatment compared with the control treatment may be due to better P assimilation by plant, and this was reflected in more spikelets production (26).

The depletion of inorganic nitrogen and potassium observed in the soil of all treatments at the end of experiment, is attributed to the consumption realized by the oat, since cereals absorb more nitrogen and potassium than any other element (10, 14, 34). Crops as oat require chemical fertilization to obtain acceptable yields, mainly when they are seeded in depleted soils. This crop absorbs 34, 5 and 20 kg of nitrogen, phosphorous and potassium respectively, for each tonne of dry matter produced (9). In addition, the consumption of nutrients by the microorganisms and the leaching of minerals, also contribute to the elements loss of the soil reserve (5).

The increment of magnesium in the soil at the end of this experiment, although in low quantities, is important, because of this element is essential for the chlorophyll production (4). This raise of magnesium could be due to the activity of the microorganisms of the soil in the NS treatments and to the activity of *P. lilacinum* in the ASF treatment (11).

The degrading action of the soil biota contribute to the availability of cations, like magnesium when it mineralizes organic matter and dissolves the inorganic sources like the dolomite, hornblende and serpentine (5), however it is a subject of study to know if it is related to the activity of *P. lilacinum*.

Moreover, the concentration of active aluminum is presented in tolerable levels of plants (<2 cmol kg⁻¹), despite of the acidness of the soil of all treatments (pH = <5.5) (28).

The less quantity of organic C and N of the soil, presented in the treatments with *P. lilacinum* regarding the controls, could point that the fungus used this elements for its own growth.

The organic matter in the soil represents the principal energetic resource for the fungus (3, 12) and it is important for the production of organic acids by the phosphates solubilizing organisms (20).

Even though the relation of C/N of the soil was the right one (between 8 and 15) to allow the release of nitrogen through the degradation of the organic matter, the content of organic carbon was low, this could be a limiting factor on microorganisms development (5, 31).

Low nutrients content of plants obtained is a consequence of the soil nutrients deficiencies.

The high of the oat plants, fresh and dry weigh, and the content of P on vegetal tissue, in this experiments, are variables that do not indicate the activity *P. lilacinum* like solubilizer of phosphates, coinciding with Bashan *et al.* (2013).

However, the highest number and weight of spikelets per plant were the variables that indicate in a indirect way, the positive effect of *P. lilacinum* application in the soil, because the plants may have absorbed a greater quantity of P, nutrient related to the production of seed (18, 33). This increment in the production of seeds has being obtained when applied *Aspergillus brasiliensis* Varga, Frisvad & Samson, *Penicillium citrinum* Thom and *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link in different plants (32, 38, 43).

Phosphorus uptake by plants is influenced and maximized by the soil microbiota. Promoting microbial activity by the addition of organic amendments to agricultural soils, significantly influences the availability and absorption of this nutrient (36, 39). The low content of organic matter in the soil used in this experiment (<4%), could negatively influence the establishment of *P. lilacinum* and subsequent solubilization activity.

We hypothesized that availability of P, Ca y Fe measured by nutrients amount of the soil and the oats plants, would indicate solubilizing capacity of *P. lilacinum*, as well as higher data in its vegetative variables. Contrary to our predictions only the number of spikelets plant⁻¹ and spikelets weight were indicators that the plants

had a greater availability of phosphorus. An important point in the field is the establishment of organisms applied to the crop soil to obtain the benefits expected in the yield. However, there are many factors that influence for conditioning the success of biological agents.

CONCLUSION

The application of *P. lilacinum* has not produced a clear effect on the soil and plants nutrient content. However, according to our results, the fungus could have favored the better absorption of P, which was reflected on yield by stimulating the seeds formation.

REFERENCES

1. Acevedo Sandoval, O. A.; Chavez, E. C.; Sánchez, M. C.; Prieto García, F.; Prieto Méndez, J. 2014. Sesquióxidos de hierro en bosques templado húmedos del estado de Hidalgo, México. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(1): 109-123.
2. Bashan, Y.; Kamnev, A. A.; de-Bashan, L. E. 2013. Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. Biology and Fertility of Soils. 49: 465-479.
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. Benton, J. J. 2012. Plant Nutrition and Soil Fertility Manual. Second edition. CRC Press. EE. UU. 304 p.
5. Brady, N. C.; Weil, R. R. 2004. Elements of the nature and properties of soils. Second edition. Pearson Prentice Hall. EE. UU. 606 p.
6. Campos, C. A.; Oleschko, K.; Cruz, H. L.; Etchevers, B. J. D.; Hidalgo, M. C. 2001. Estimaciones de alofano y su relación con otros parámetros químicos en andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. Terra. 19: 105-116.
7. Campos, C. A.; Oleschko, K.; Cruz, H. L.; Etchevers, B. J. D.; Hidalgo, M. C. 2007. Exploring the effect of changes in land use on soil quality on the eastern slope of the Cofre de Perote Volcano (Mexico). Forest Ecology and Management. 248: 174-182.
8. Casas-Flores, S.; Herrera-Estrella, A. 2007. Antagonism of plant parasitic nematodes by fungi. In Kubicekand, C. P.; Druzhinina, I. S. (Eds.) Environmental and Microbial Relationships. Berlin. Springer-Verlag. 147-157. Heidelberg.
9. Ciampitti, I. A.; García, F. O. 2011. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. In: [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/e036ac788900a6560325728e0069ff05/\\$FILE/I.%20Ciampitti-%20Requerimientos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/e036ac788900a6560325728e0069ff05/$FILE/I.%20Ciampitti-%20Requerimientos.pdf) (Accessed January 2013).

10. Delgado Martínez, R.; Escalante Estrada, J. A. S.; Morales Rosales, E. J.; López Santillan, J. A.; Rocandio Rodríguez, M. 2015. Producción y rentabilidad del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 15-25.
11. 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.
12. Dighton, J. 2007. Nutrient cycling by saprotrophic fungi in terrestrial habitats. In: Kubicek, C. P.; Druzhinina, I. S. (Eds.). Environmental and Microbial Relationships, The Mycota. Second edition. Berlin. Springer. 287-300.
13. Duponnois, R.; Kisa, M.; Plenchette, C. 2006. Phosphate-solubilizing potential of the nematophagous fungus *Arthrobotrys oligospora*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 169: 280-282.
14. Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Jones, C. A. 2010. Growth and mineral nutrition of field crops. Third Edition. EE. UU. CRC Press. 586 p.
15. Fassbender, H. W.; Bornemisza, E. 1987. Química de los Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. 2ª ed. Costa Rica. Servicio Editorial del Instituto Interamericano para la Agricultura. 420 p.
16. Frossard, E.; Condron, L. M.; Oberson, A.; Sinaj, S.; Fardeau, J. C. 2000. Processes governing phosphorus availability in temperate soils. Journal of Environmental Quality. 29: 15-23.
17. Geissert, K. D.; Ramírez, S. M.; Meza, P. E. 2000. Propiedades físicas y químicas de un suelo volcánico bajo bosque y cultivo en Veracruz, México. Foresta Veracruzana. 2: 31-34.
18. Grant, C. A.; Flaten, D. N.; Tomasiewicz, D. J.; Sheppard, S. C. 2001. Importance of early season phosphorus nutrition. Better Crops. 85: 18-23.
19. Gudiño, M. E.; de Abreu, L. M.; Marra, L. M.; Pfenning, L. H.; Moreira, F. M. d. S. 2015. Phosphate solubilization by several genera of saprophytic fungi and its influence on corn and cowpea growth. Journal of Plant Nutrition. 38: 675-686.
20. Gyaneshwar, P.; Naresh-Kumar, G.; Parekh, L. J.; Poole, P. S. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant and Soil. 245: 83-93.
21. Hernández-Leal, T.; Carrión, G.; Heredia, G. 2011. Solubilización in vitro de fosfatos por una cepa de *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samsom. Agrociencia. 45: 881-892.
22. Hirsch, P.; Eckhard, F. E. W.; Palmer, R. J. J. 1995. Fungi active in weathering of rock and stone monuments. Canadian Journal of Botany. 73: S1384-S1390.
23. Hoffland, E.; Kuyper, W. K.; Wallander, H.; Plassard, C.; Gorbushina, A. A.; Haselwandter, K.; Holmström, S.; Landeweert, R.; Lundström, U. S.; Rosling, A.; Sen, R.; Smits, M. M.; van Hees, P. A. W.; van Breemen N. 2004. The role of fungi in weathering. Frontiers in Ecology and the Environment. 2: 258-264.
24. INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Perote, Veracruz de Ignacio de la Llave. México. INEGI. 9 p.
25. Jones, J. B.; Wolf, B.; Mills, H. A. 1991. Plant Analysis Handbook. EE. UU. Micro-Macro Publishing, Inc. 128.
26. Kaur, G.; Reddy, M. S. 2015. Effects of phosphate-solubilizing bacteria, rock phosphate and chemical fertilizers on maize-wheat cropping cycle and economics. Pedosphere. 25: 428-437.
27. Khan, M. R.; Akram, M. 2000. Effects of certain antagonistic fungi and rhizobacteria on wilt disease complex of tomato cause by *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* F. sp. *Lycopersici*. Nematologia Mediterranea. 28: 139-144.
28. McBride, M. B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. EE. UU. Oxford University Press. 406 p.
29. Mendes, G. O.; Freitas, A. L. M.; Pereira, O. L.; Silva, I. R.; Vassilev, N. B.; Costa, M. D. 2014. Mechanisms of phosphate solubilization by fungal isolates when exposed to different P sources. Annals of Microbiology. 64: 239-349.

30. Mendoza, A. R.; Sikora, R. A.; Kiewnick, S. 2007. Influence of *Paecilomyces lilacinus* strain 251 on the biological control of the burrowing nematode *Radopholus similis* in banana. *Nematropica*. 37: 203-213.
31. Navarro-Blaya, S.; Navarro-García, G. 2003. *Química Agrícola*. 2ª edición. España. Mundi-Prensa. 487 p.
32. Omar, S. A. 1998. The role of rock-phosphate-solubilizing fungi and vesicular-arbuscular-mycorrhiza (VAM) in growth of wheat plants fertilized with rock phosphate. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 14: 211-218.
33. Pariasca-Tanaka, J.; Vandamme, E.; Mori, A.; Segda, Z.; Saito, K.; Rose, T. J.; Wissuwa, M. 2015. Does reducing seed-P concentrations affect seedling vigor and grain yield of rice? *Plant and Soil*. 392: 253-266.
34. Rangel Lucio, J. A.; Ramírez Gama, R. M.; Cervantes Ortíz, F.; Mendoza Elos, M.; García Moya, E.; Rivera Reyes, J. G. 2014. Biofertilización de *Azospirillum* spp. y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(2): 231-238.
35. Richardson, A. E.; Barea, J. M.; McNeill, A. M.; Prigent-Combaret, C. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*. 321: 305-339.
36. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 33-42.
37. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México. *Diario Oficial de la Federación*. 85 p.
38. Singh, S.; Kapoor, K. K. 1999. Inoculation with phosphate-solubilizing microorganisms and a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. *Biology and Fertility of Soils*. 28: 139-144.
39. Souchie, E. L.; Azcón, R.; Barea, J. M.; Saggin-Júnior, O. J.; Ribeiro da Silva, E. M. 2006. Phosphate solubilization and synergism between P-solubilizing and arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 41: 1405-1411.
40. Turner, B. L.; Frossard, E.; Oberson, A. 2006. Enhancing phosphorus availability in low-fertility soils. In: Uphoff, N. *et al.* (Eds.). *Biological Approaches to sustainable soil systems*. EE. UU. Taylor & Francis. 191-205.
41. Westfall, D. G.; Whitney, D. A.; Brandon, D. M. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing small grains. In: Westerman, R. L. (Ed.). *Soil Testing and Plant Analysis 3rd edition*. EE. UU. Soil Society of America Inc. 495-519.
42. Whitelaw, M. A. 1999. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. In: Sparks, D. L. (Ed.). *Advances in Agronomy* 69. EE. UU. Elsevier. 99-151.
43. Xiao, C.; Chi, R.; He, H.; Qiu, G.; Wang, D.; Zhang, W. 2009. Isolation of phosphate-solubilizing fungi from phosphate mines and their effect on wheat seedling growth. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 159: 330-342.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was conducted in the laboratory of Fungal Biodiversity and Systematics at the Instituto de Ecología, A. C.-Cluster Biomimic. The authors thank to Sandra Rocha, Ninfa Portilla and Lourdes Cruz for assistance with soil analysis. The authors also thank Dr. Adolfo Campos by suggestions in experiments design.

Efecto residual provocado por dos lodos de depuradora procedentes de un ensayo de fitorremediación con cardo en un cultivo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) en Madrid

Residual effect of two sewage sludges from a phytoremediation test with thistle on camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) in Madrid

Maria del Mar Delgado ¹, Carmen Lobo ², Antonio Plaza ², Aníbal Capuano ³, Gonzalo Hernando ³, Javier Prieto ³, Rosario Miralles de Imperial ¹, José Valero Martín ¹

Originales: *Recepción*: 26/03/2015 - *Aceptación*: 02/12/2015

RESUMEN

Se realizó un ensayo de campo con camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz para estudiar su comportamiento en rotación de cultivo con un ensayo de fitorremediación con cardo (*Cynara cardunculus* L.), en un suelo representativo de un agroecosistema semiárido. El diseño experimental constó de parcelas sembradas con *Camelina sativa* (L.) Crantz, aprovechando la fertilización residual de enmiendas con dosis de lodo secado térmicamente (ST50) y (ST100) y de lodo compostado con resto de poda (CP50) y (CP100) comparados con un suelo control (T), en rotación de cultivo con un ensayo de fitorremediación con cardo. En términos generales, la fertilización residual con el lodo secado térmicamente (ST50) mejora la respuesta del cultivo, aumentando los valores de producción respecto del control y de la fertilización residual con lodo compostado con resto de poda. También con el efecto residual del lodo secado térmicamente (ST50) se consigue un aprovechamiento más eficaz del nitrógeno aplicado (proteína) y un mayor contenido en grasa. Respecto de las propiedades físico-químicas del suelo los resultados obtenidos muestran que los suelos fertilizados con lodos experimentaron un incremento de pH, materia orgánica, P, K, Ca, Mg y Na. La concentración de micronutrientes Cu, Zn y Ni y metales pesados Cr, Cd y Pb aumentó respecto del testigo, pero no hubo riesgos de contaminación.

Palabras clave

Camelina sativa (L.) Crantz • *Cynara cardunculus* • lodo secado térmicamente • lodo compostado con resto de poda

-
- 1 INIA, Departamento de Medio Ambiente. Ctra. de La Coruña Km. 7.5, 28040 Madrid, España. delgado@inia.es
 - 2 IMIDRA, Departamento Agroambiental. A-2 Km 38.2 28000. Madrid, España
 - 3 Camelina Company S.L. Spain, Vía limite 7, 28029 Madrid. España

ABSTRACT

A field trial with *Camelina sativa* (L.) Crantz was performed to study their behavior following a residual of previous crop fertilization in a representative soil of a semiarid agroecosystem. The experimental design consisted of plots sown with *Camelina sativa* (L.) Crantz in crop rotation with *Cynara cardunculus* L. and using their residual fertilizer amendments (ST50) and (ST100) thermally-dried sewage sludge and (CP50) and (CP100) composted sewage sludge with pruning waste, which were compared with a control soil (control). Overall, fertilization thermally-dried sewage sludge (ST50) improved crop response, increasing production values compared to control and fertilization with composted sewage sludge with pruning waste. Moreover, with the residual effect of the thermally-dried sewage sludge (ST50) a more efficient utilization of the applied nitrogen (protein) is achieved, as well as a higher fat content. Regarding the physicochemical properties of soil, the results show that the soil fertilized with sludge had an increase of pH, organic matter, P, K, Ca, Mg and Na. The concentration of micronutrients Cu, Zn and Ni and heavy metals Cr, Cd and Pb increase over the control, but there was no risk of contamination.

Keywords

Camelina sativa (L.) Crantz • *Cynara cardunculus* L. • thermally-dried sewage sludge • composted sewage sludge with pruning waste

INTRODUCCIÓN

La camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) es una planta oleaginosa de la familia de las *Brassicaceae*, con bajos requerimientos de cultivo y cierta resistencia a la sequía, que puede constituir una alternativa a otros cultivos de secano desarrollados en Madrid. Estudios anteriores reflejaron que el cultivo de camelina puede desarrollarse sin fertilización, cuando este se implante después de un cultivo que haya dejado en el suelo niveles residuales adecuados en N, P y K (13).

En este sentido, se realizó ensayos de invernadero en el INIA de Madrid para evaluar la respuesta de un cultivo de camelina cv. "Calena", a la fertilización residual, después de las extracciones realizadas por un cultivo anterior (colza) al que se había aplicado lodo de depuradora, secado térmicamente o fertilizante

mineral. Los resultados reflejaron, que la camelina aprovecha la fertilización orgánica-mineral del cultivo anterior, por lo que podría sembrarse en una rotación de cultivo, aprovechando el efecto residual de la fertilización del cultivo anterior, sin tener que aportar un nuevo abonado (25).

La aplicación de lodos secados térmicamente y compostados se contempla como una opción eficaz para mejorar la calidad de los suelos e incrementar su fertilidad. En este contexto, la utilización de lodos secados térmicamente y compostados como fertilizantes o enmendantes orgánicos de suelos agrícolas, está siendo ampliamente usado como sistema de gestión más económica, ya que contiene elementos nutrientes como: N, P, K, Ca y Mg en ciclos naturales agrícolas (10).

La Orden AAA/1072/2013 recién aprobada, del 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario (5), tiene por objeto actualizar el contenido del Registro Nacional de Lodos y también el Real Decreto 506/2013, del 28 de junio, sobre productos fertilizantes (6). Este señala que la protección del suelo constituye un objetivo prioritario en un buen abonado, para garantizar su fertilidad y su valor agronómico, presente y futuro. En este sentido, la aplicación de lodos de depuradora como fertilizante orgánico-mineral en cultivos oleaginosos y sus efectos en el suelo y planta han sido estudiados estos últimos años en ensayos de invernadero con girasol y colza (23, 24). Johnson y Gesch (2013) en ensayos en invernadero y tiestos estudiaron la respuesta de camelina a la fertilización con nitrógeno.

No obstante, la realización de estudios de campo a largo plazo proporciona una información extremadamente valiosa acerca de la capacidad fertilizante del residuo aplicado y la influencia que ejerce sobre el suelo y las plantas en condiciones reales (8, 9).

Gugely y Falk (2006) en ensayos de campo estudiaron el requerimiento de nutrientes en este cultivo, para establecer las dosis adecuadas de fertilizantes y el efecto en el rendimiento en grano y su calidad por medio de su contenido de proteína y aceite. También Imbrea *et al.* (2011) en ensayos en campo evaluaron la influencia de distintos niveles de fertilización mineral con nitrógeno y fósforo, así como diferentes densidades de siembra en el rendimiento en grano de camelina.

Objetivo

Estudiar la posible utilización del efecto residual de lodos de depuradoras en un cultivo de *Camelina sativa* (L.) Crantz en rotación de cultivo con cardo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un experimento en la finca experimental "La Canaleja" perteneciente al INIA situada en el término municipal de Alcalá de Henares (Madrid). Sus coordenadas geográficas son 40°30' de latitud norte y 3°17' de longitud oeste y se encuentra a una altitud media de 600 m sobre el nivel del mar. El suelo de esta finca experimental se asienta sobre un material originario de arenas, cantos y gravas, con presencia de un horizonte cálcico a menos de un metro de profundidad. Se puede clasificar como Haploxeralf calciortidico según criterios taxonómicos (31).

La textura del suelo es franco arcillosa, con un contenido en carbonatos en torno al 5% y las características físico-químicas media analizadas sobre un análisis de diez submuestras de la parcela seleccionada para el ensayo son: pH 8,5, conductividad eléctrica 0,13 dSm⁻¹, Nitrógeno Total y Carbono oxidable 0,17 y 1,44% respectivamente, C/N 1,44, N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻ de 6,45 y 14,70 mgkg⁻¹ respectivamente y metales pesados Cu, Zn, Pb, Ni, Cr y Cd con 9, 50, 9, 75, 3 y 0,005 mgkg⁻¹.

Las características físico-químicas de los lodos empleados en el ensayo anterior de fitorremediación de cardo se muestran en la tabla 1 (pág. 16).

El lodo secado térmicamente fue suministrado por la empresa SUFI y procede de la Planta de Secado de biosólidos en la E.R.A.R. Sur de Madrid y el lodo compostado con resto de poda 1:1 procedente de Granada y distribuido por la empresa Biomasa del Guadalquivir.

La incorporación de los lodos fue realizada en septiembre de 2010 mediante labores con cultivador y en octubre se procedió a la siembra del cardo.

Tabla 1. Características del lodo compost con resto de poda y del lodo secado térmicamente (media±desviación estándar).**Table 1.** Composted sewage sludge with pruning waste and sewage sludge thermally- dried characteristics (mean±standard deviation).

Parámetro	Lodo compost resto de poda	Lodo secado térmico	Límites UE pH >7
pH (1:2,5 H ₂ O)	7,5±0,1	6,70±0,1	
C.E. (dSm ⁻¹ 1:5,0 H ₂ O)	2,9±0,5	4,6±0,5	
Humedad (%)	32,71±3,7	8,87±0,7	
Carbono orgánico total (gkg ⁻¹)	225,0±34,6	259,4±34,6	
Nitrógeno Kjeldahl (gkg ⁻¹)	16,0±5,6	40,5±6,0	
C/N	14,06	5,75	
Fósforo -P- (mgkg ⁻¹)	288,0±115	400±100	
Potasio -K- (mgkg ⁻¹)	2034,0±200	974±200	
Calcio -Ca- (mgkg ⁻¹)	4705,0±400	2770±4000	
Sodio-Na (mgkg ⁻¹)	352,0±200	552±100	
Magnesio -Mg- (mgkg ⁻¹)	883,0±200	970±200	
Cobre -Cu- (mgkg ⁻¹)	170,5±68,5	385,5±68,5	1750,0
Plomo -Pb- (mgkg ⁻¹)	78,0±25	219,0±60,8	1200,0
Cromo -Cr- (mgkg ⁻¹)	248,3±3,1	280,0±3,1	1500,0
Zinc -Zn- (mgkg ⁻¹)	1602,5±193	1118,5±193	4000,0
Níquel -Ni- (mgkg ⁻¹)	33,2±6,5	73,0±10,4	400,0
Cadmio -Cd- (mgkg ⁻¹)	0,4±0,2	1,9±0,2	40,0

El ensayo con cardo se realizó durante dos campañas (2010-2012) con análisis de suelos y materia vegetal, para el estudio de la capacidad de fitorremediación de esta planta.

Posteriormente, en este suelo se procedió al estudio del cultivo de la camelina y debido a que las condiciones meteorológicas específicas de cada campaña tienen un efecto muy marcado sobre el cultivo, se tomaron de la estación existente en la propia finca, las temperaturas y las precipitaciones medias mensuales del año hidrológico de experimentación para el cultivo de camelina (figura 1, pág. 17). Esta figura representa las temperaturas medias mensuales registradas durante el periodo de ensayo, observándose que en la época de otoño las temperaturas medias mensuales fueron superiores (20,3°C y 15,2°C septiembre y octubre respectivamente) con respecto a las

alcanzadas en primavera (11,66°C en abril y 13,74°C en mayo).

Respecto de las precipitaciones medias registradas, las lluvias estuvieron concentradas en primavera, sobre todo en marzo con 91,2 mm y en los meses de otoño principalmente, octubre y noviembre con 67,7 mm y 57,3 mm respectivamente.

Diseño experimental

El experimento constó de 18 parcelas de 200 m² (20 m x 10 m) sembradas con *Camelina sativa* (L.) Crantz (proporcionada por la empresa Camelina Company España S. L.) en rotación de cultivo con cardo (*Cynara cardunculus* L.), aprovechando su fertilización residual de enmiendas con 50 (ST50) y 100 (ST100) t/ha de lodo secado térmicamente y 50 (CP50) y 100 (CP100) de lodo compostado con restos de poda, que se compararon con un suelo control (testigo).

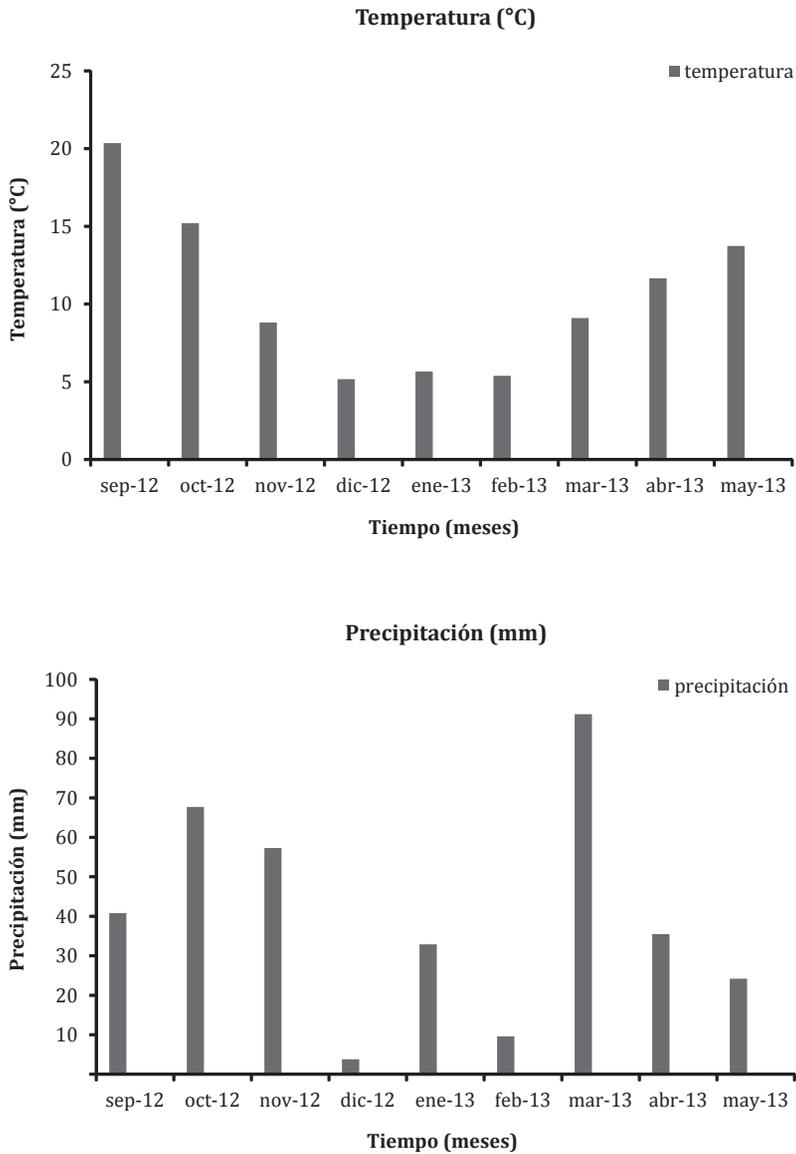


Figura 1. Temperaturas medias mensuales y precipitaciones medias mensuales del primer año hidrológico de experimentación.

Figure 1. Monthly average temperatures and monthly average rainfall of first hydrological year of experimentation.

La siembra de la *Camelina sativa* (L.) Crantz se realizó mecánicamente, con una sembradora de precisión para parcelas experimentales a finales de noviembre, con una densidad de siembra de 8 kg/ha, que equivale aproximadamente a 3,2- 3,6 kg de semilla.

El diseño fue mediante bloques al azar con tres repeticiones, en parcelas anteriores de cardo enmendado con dos dosis de lodos de depuradora tratados (secado térmico y compost de lodo con restos de poda).

En primavera se aplicó un tratamiento herbicida de Lontrel (clopiralida 42,5% p/v) en todas las parcelas.

Antes de cosechar las parcelas se recogió muestras de plantas. El número de plantas son las recogidas dentro de un marco de hierro de un m² puesto al azar en cada unidad experimental para posteriormente determinar los siguientes parámetros: rendimiento en materia seca (%), rendimiento en semillas (%) y calidad de las semillas (peso de 1000 semillas).

También se comprobó la eficiencia del fertilizante residual proporcionada por el lodo (cantidad de proteína y grasa de las semillas). El contenido en proteína (%), calculado como N-Kjeldahl x 6,25 y su contenido en materia grasa (%) por el método de Resonancia Magnética Nuclear (18).

Se seleccionó un equipo de barrenas Eijkelkamp de media caña para muestrear los suelos antes de la siembra y después de la cosecha, para comprobar la evolución de los parámetros en el suelo de la camelina en los diferentes tratamientos y en las dos profundidades 0-20 cm y 20-40 cm.

Los análisis realizados, tras secado al aire y tamizado a 2 mm de luz de malla, fueron: el pH se midió en una suspensión residuo/agua (1:2,5) mediante un electrodo de vidrio y realizando la medida en un pH-metro CRISON micro pH 2001 con compensación automática de temperatura.

Para medir la conductividad eléctrica (dSm⁻¹), se utilizó un conductímetro CRISON micro CM 2201 en un extracto acuoso (1:5,0) (2).

El método para analizar el carbono orgánico oxidable fue el de Walkey-Black consistente en la oxidación de la muestra con dicromato potásico por vía húmeda, utilizando un factor de oxidación de 1,29 ya que se supone que solo el 77% del carbono orgánico presente en la muestra fue oxidado en las condiciones experimentales empleadas, *i. e.* mezclado de K₂Cr₂O₇ 1 N y H₂SO₄ concentrado en proporción 2:1 y media hora digerido a temperatura ambiente (2).

La concentración de nitrógeno total se determinó siguiendo el método Kjeldahl, que consiste en la digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado. El nitrógeno orgánico se mineraliza, pasando a forma amoniacal, que junto con el amonio ya existente en la muestra se valora por colorimetría (17).

El nitrógeno amoniacal y en forma de nitrato, se analizó siguiendo el método Bremner mediante una destilación con arrastre de vapor (7). El contenido de P, K, Ca, Mg y Na, se llevó a cabo según el método recogido en MAPA (1994). Los metales pesados (Pb, Ni, Cr, Cu, Pb y Cd) se midieron por espectrofotometría de emisión de plasma previa digestión ácida (HNO₃/HCL, 1:3) (32).

Las propiedades físicas de los suelos como: la porosidad, capacidad de campo y punto de marchitamiento fueron medidos también antes de la siembra al final de la cosecha, solo a la profundidad de 0-20 cm debido a que estas propiedades físicas se miden en la capa arable (20 cm de profundidad) según el método recogido en MAPA (1994).

Las características físico-químicas de los lodos empleados en el cultivo anterior con cardo (tabla 1, pág. 16) se han analizado utilizando los mismos métodos que los expuestos para el suelo.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza de múltiple rango (ANOVA) de dos factores: tratamientos; lodo secado térmicamente y lodo compostado con restos de poda y dosis de 50 (ST50) y 100 (ST100) t/ha. Se utiliza la prueba estadística LSD para comparar su media ($P \leq 0,05$), utilizando el programa estadístico Statgraphics (29).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos sobre el cultivo

Con el fin de analizar conjuntamente los efectos de los tratamientos ejercidos en el año de experimento, sobre el rendimiento de cosecha, se ha calculado la producción total, tanto de semillas como de materia seca, de cada uno de los tratamientos, así como el porcentaje de variación respecto de control. También se ha estudiado su contenido en proteína y grasa de cada uno de ellos (tabla 2).

Tabla 2. Rendimiento de materia seca y de semilla de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) (kg ha^{-1}) en los diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y variación respecto del testigo (%t). Altura de planta (m), peso de mil semillas (g), proteína (%) y grasa (%).

Table 2. Dry matter yield and seed yield of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) (kg ha^{-1}) according to the different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) and variation compared with the control (%t). Plant height (m), thousand seeds weight (g), protein (%) and fat (%).

Tratamiento	Rendimiento de materia seca (Kgha^{-1})		Rendimiento de semilla (Kgha^{-1})		Altura de planta (m)	Peso de mil semillas (g)	Proteína (%)	Grasa (%)
		%T		%T				
Testigo	8726.67a		1009.26a		1.03a	1.25a	27.23a	35.24a
ST50	9250.00e	6	1535.49b	34	1.09a	1.30a	28.07a	35.56a
ST100	7750.00c	-13	1319.30c	23	1.04a	1.28a	27.51a	34.87a
CP50	9410.00d	7	1199.91d	16	1.05a	1.29a	27.49a	34.61a
CP100	7753.33b	-12	1394.05e	28	0.98a	1.28a	27.50a	34.64a
Valor p	*		*		ns	ns	ns	ns

* $p \leq 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p \geq 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p \leq 0,05$).

* $p \leq 0.05$ significant difference. ns; no significant difference ($p \geq 0.05$).

Different letters in the row indicate significant differences according to LSD test ($p \leq 0.05$).

Los resultados indican que la variación porcentual en el rendimiento de semillas, respecto del testigo se alcanzó en las parcelas fertilizadas con dosis 50 t/ha de lodo secado térmicamente (ST50) de un cultivo original de cardo (2010-2012) y ahora en rotación de cultivo con la camelina. En dicho tratamiento el rendimiento de materia seca fue levemente menor que con la dosis CP50, carente de efecto sobre el rendimiento de semillas.

Aunque no se encontró diferencias significativas en los tratamientos respecto del porcentaje de proteína y grasa, es posible inferir que la dosis ST 50 presenta una tendencia positiva respecto de los otros tratamientos (tabla 2, pág. 19). Mayor cantidad total de semillas y de materia seca, así como el mayor contenido en proteína y grasa se alcanzó en las parcelas fertilizadas con dosis 50 t/ha de lodo secado térmicamente (ST50) de un cultivo original de cardo (2010-2012) y ahora en rotación de cultivo con la camelina.

Estos resultados están de acuerdo con lo establecido por Delgado *et al.* (2012) y Bautista Cruz *et al.* (2014), quienes indicaron que la aplicación de lodo de depuradora puede lograr un rendimiento de cosecha satisfactorio y resulta posible sustituir la fertilización mineral, parcial o totalmente. Sin embargo, la aplicación de dosis superiores a la óptima, calculada en función de las necesidades de fertilización del cultivo, las características del suelo y las condiciones ambientales, no siempre supone un aumento significativo de la producción, sino que conlleva un riesgo de contaminación. Esto se puede observar en el efecto negativo que tienen las dosis altas de lodos tanto secado térmico como compostado respecto del control en el rendimiento en materia seca (tabla 2, pág. 19).

Respecto del estudio estadístico se observó que solo existen diferencias significativas $p \leq 0,05$ para el cultivo de camelina respecto

de su rendimiento de materia seca como rendimiento en semillas.

La evaluación de la calidad de la semilla obtenida en cada cosecha se ha realizado en función de un parámetro relacionado con el peso de las semillas (peso de mil semillas). Según Molina (1989), el peso de las semillas es función de la etapa de maduración y de la velocidad de crecimiento de las semillas y se considera un componente de la cosecha relativamente estable bajo condiciones normales de cultivo.

Un peso de semillas menor indica un descenso en los aportes de compuestos asimilados; debido especialmente a condiciones ambientales desfavorables como una mayor sequedad y temperatura al final del ciclo del cultivo (16).

Los valores medios del peso de mil semillas se muestran en la tabla 2 (pág. 19), observándose que el mayor peso (1,3 g) se obtuvo en el suelo fertilizado con lodo secado térmicamente (ST50) cuya dosis fue 50 t/ha.

También en la tabla 2 (pág. 19) se muestra la altura media de la plantas respecto de las distintas dosis de efecto residual del lodo ensayado. El mayor valor alcanzado (1,09 m) fue el proveniente del suelo fertilizado con lodo secado térmicamente (ST50) cuya dosis fue 50 t/ha (22).

Los resultados obtenidos respecto de la altura y el peso de mil semillas de la camelina estudiada, se encuentran dentro del rango de los datos de altura (de 0,30 a 1,20 m) y peso de mil semillas (de 0,8 a 2 g), encontrados y expuestos por Gutiérrez y Albalat (2013), después de una amplia revisión bibliográfica.

Efectos sobre el suelo

La evolución de las propiedades químicas del suelo de un cultivo de camelina en rotación de cultivo de cardo, muestran el comportamiento de la aplicación de lodo secado térmicamente y lodo compostado con resto de poda.

En la figura 2 (pág. 22) se muestra la evolución del pH y la conductividad eléctrica (CE) en el suelo de camelina con diferentes tratamientos y dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm). Se puede observar que la tendencia encontrada en la aplicación de lodo fue de un descenso del pH del suelo frente al testigo, al contrario del efecto en la CE que lo hizo aumentar. Estos efectos también se constataron en ensayos realizados con girasol y cardo, (23, 25).

La evolución del N-NH_4^+ y N-NO_3^- en el suelo de camelina aumentó con la incorporación de lodo de depuradora siendo el lodo secado térmico (ST100) el que adquirió mayor proporción (figura 3, pág. 23).

Respecto del contenido de la materia orgánica (MO) (carbono oxidable $\times 1,72$) en el suelo (figura 4, pág. 24), los suelos donde se ha incorporado lodos son los que tienen un contenido mayor, existiendo diferencias significativas para los tratamientos (ST100), (CP50) y (ST100) (12).

También se estudió la evolución de los nutrientes N, P, K Ca, Mg y Na en especial de los tres primeros, por ser considerados los nutrientes fundamentales para las plantas. En el caso del nitrógeno el mayor contenido se encuentra en el suelo donde se ha aplicado la dosis más alta de lodo secado térmico (ST100) y solo aparecen diferencias significativas (figura 5, pág. 24).

En cuanto al fósforo (P) también se encontró un mayor contenido en los suelos donde se había aplicado lodo (27, 30), existiendo diferencias significativas para los tratamientos (ST50), (ST100) y (CP100) (figura 6, pág. 25).

El contenido de K asimilable en los suelos varió con el tipo de enmienda orgánica agregada (figura 7, pág. 25), siendo su disponibilidad elevada para las plantas ya que es posible encontrar una gran disponibilidad de forma inorgánica muy soluble (10).

En la figura 8 (pág. 26) se muestra la evolución de las fracciones asimilables de Mg, Ca y Na.

La aplicación de lodos provocó un incremento en el contenido de Ca en el suelo poco significativo, un leve decaimiento del Mg y condiciones fluctuantes para el Na con posibles lavados en el perfil a lo largo del ciclo (10).

En cuanto al contenido en micronutrientes Cu, Zn y Ni y metales pesados Cr, Cd y Pb, se comprobó que la aplicación de lodos aumentó los contenidos en el suelo de estos elementos respecto del testigo.

El suelo con lodo secado térmicamente (ST50) obtuvo la mayor concentración de Cu ($172,50 \text{ mgKg}^{-1}$), Ni ($17,95 \text{ mgKg}^{-1}$), Cd ($3,00 \text{ mgKg}^{-1}$) y Pb ($117,00 \text{ mgKg}^{-1}$) y el compost de lodo (CP100) obtuvo la mayor concentración de Zn ($365,35 \text{ mgKg}^{-1}$) y Cr ($59,33 \text{ mgKg}^{-1}$) (1). Sin embargo, en ningún caso superan las concentraciones de metales pesados en suelos con $\text{pH} > 7$, establecido en el RD 1310/1990 (4) que regula la utilización de lodos de depuradora en sistemas agrarios.

Finalmente, se obtuvo resultados de las propiedades físicas de los suelos en el cultivo de camelina estudiando: la evolución de la porosidad (figura 9, pág. 27) capacidad de campo y punto de marchitamiento (figura 10, pág. 27-28).

Como se puede observar en estas figuras, los parámetros de capacidad de campo y punto de marchitamiento sufren un ligero aumento con la incorporación de lodo de depuradora al suelo, tanto secado térmico como compostado con resto de poda en el muestro al final de la cosecha (11).

Sin embargo, también en dicho muestreo, la porosidad del suelo desciende más pronunciadamente en el lodo secado térmico debido probablemente a un aumento de la compactación en los microporos (28).

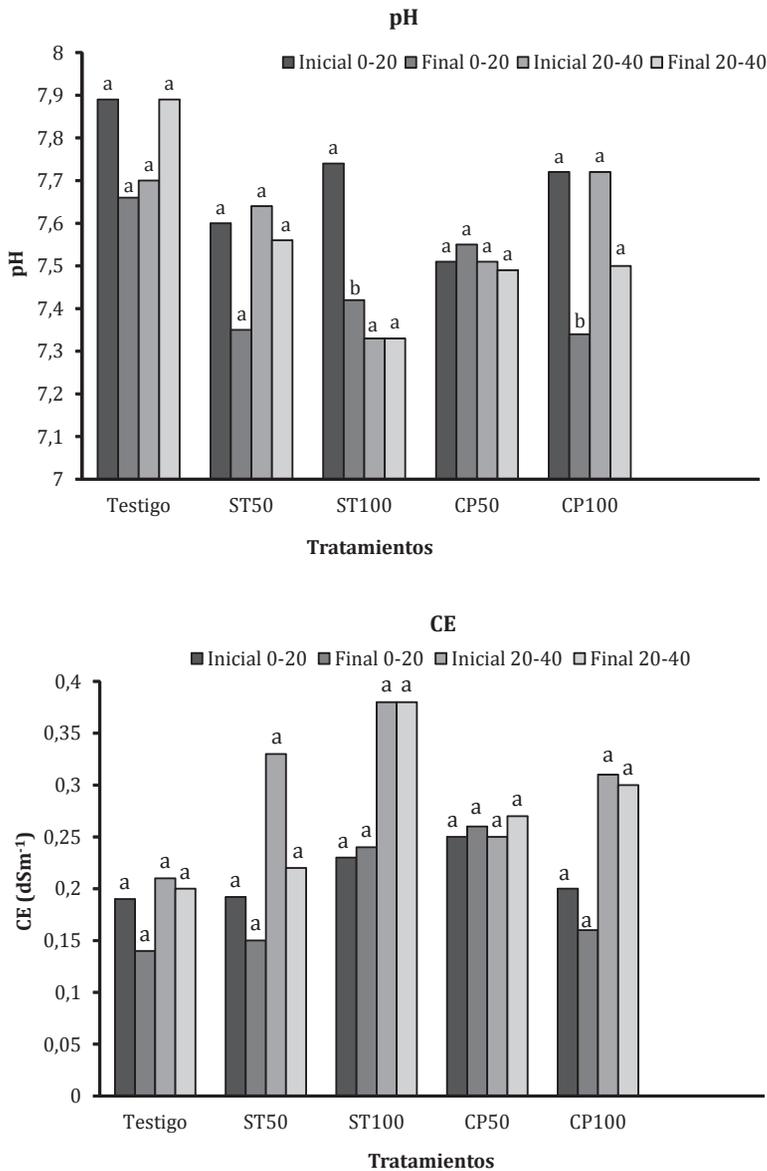


Figura 2. pH y la CE en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm).

Figure 2. pH and EC of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) and two depths (0-20 cm and 20-40 cm).

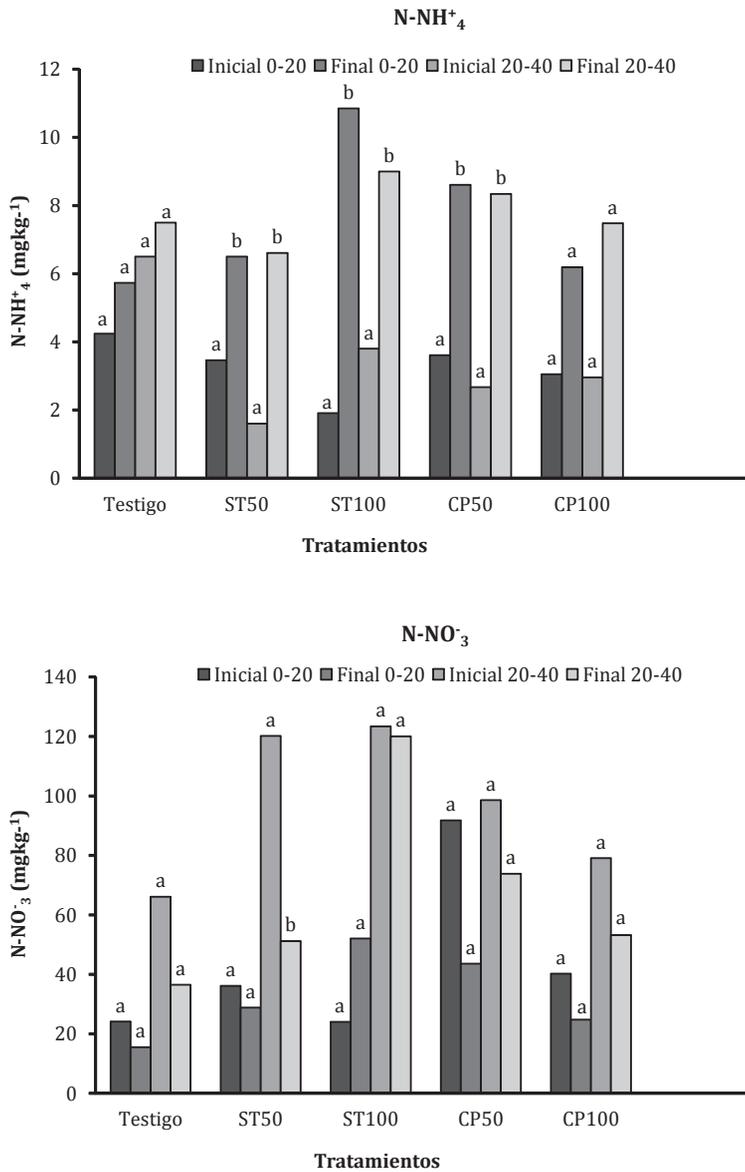


Figura 3. NH₄⁺-N y NO₃⁻-N en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm).

Figure 3. NH₄⁺-N and NO₃⁻-N of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) and two depths (0-20 cm and 20-40 cm).

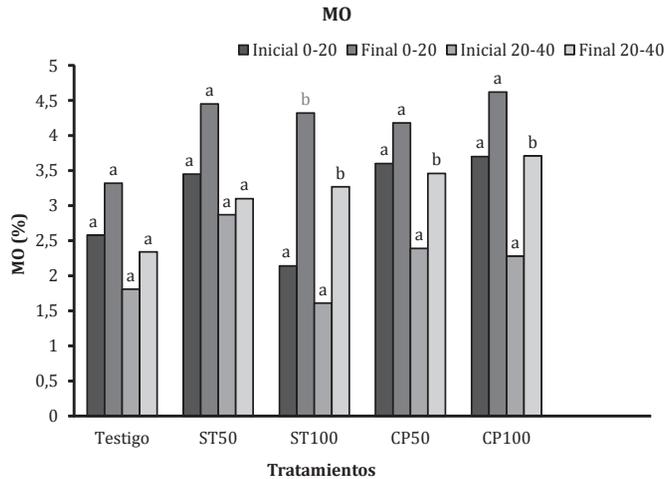


Figura 4. Materia orgánica (MO) en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y dos profundidades (0-20 cm y 20-40cm).

Figure 4. Organic matter of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) and two depths (0-20 cm and 20-40 cm).

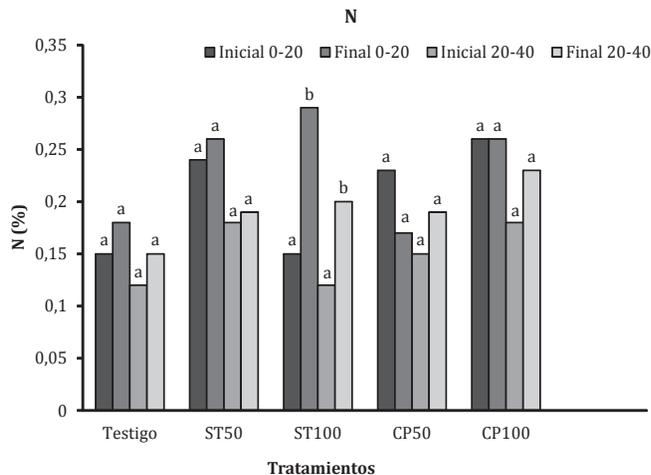


Figura 5. N en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm).

Figure 5. N of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) and two depths (0-20 cm and 20-40 cm).

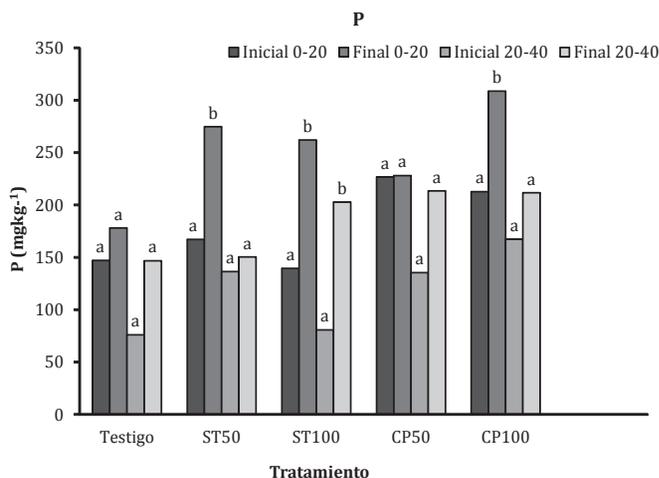


Figura 6. P en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm).

Figure 6. P of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) and two depths (0-20 cm and 20-40 cm).

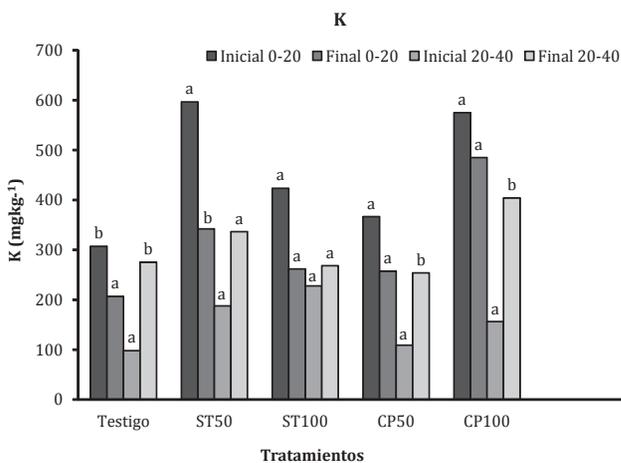


Figura 7. K en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes; tratamientos testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm).

Figure 7. K of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) and two depths (0-20 cm and 20-40 cm).

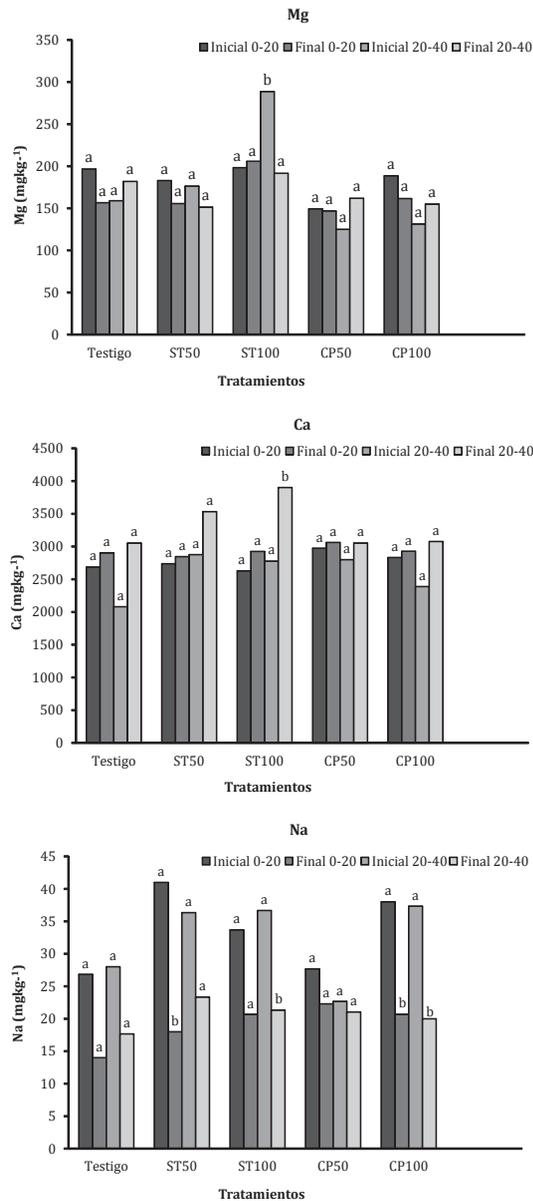


Figura 8. Mg, Ca, y Na en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm).

Figure 8. Mg, Ca and Na of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) and two depths (0-20 cm and 20-40 cm).

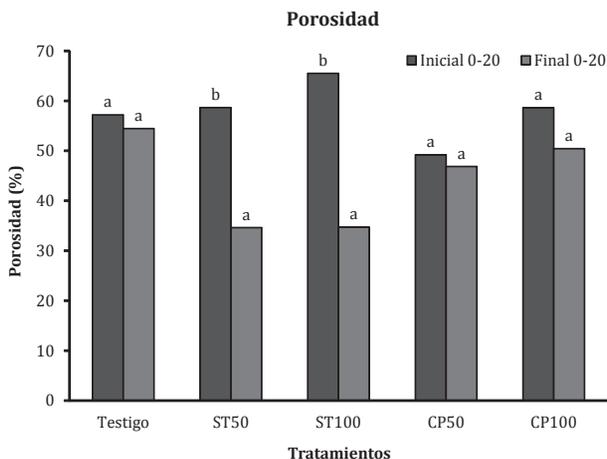


Figura 9. Porosidad en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y una profundidad (0-20 cm).

Figure 9. Porosity of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) at a depth of 0-20 cm.

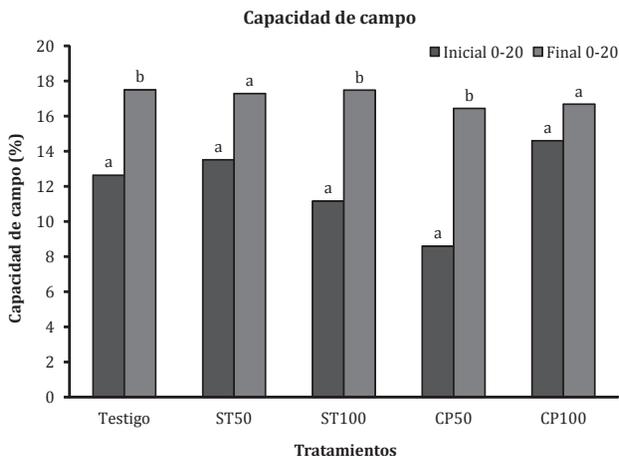


Figura 10. Capacidad de campo y punto de marchitamiento en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y una profundidad (0-20 cm).

Figure 10. Field capacity and wilting point of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) at a depth of 0-20 cm.

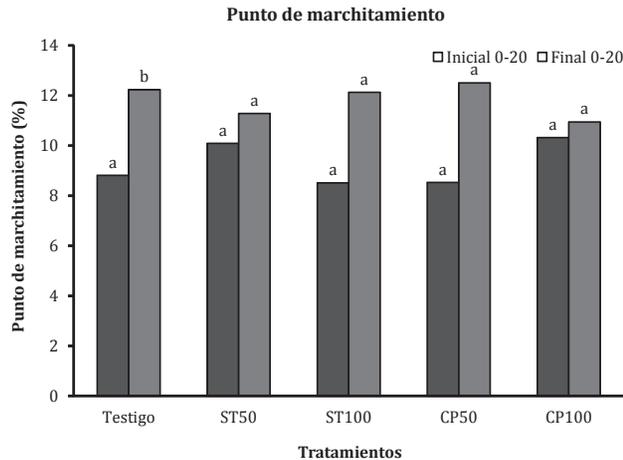


Figura 10 (cont.). Capacidad de campo y punto de marchitamiento en el suelo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) con diferentes tratamientos; testigo, lodo secado térmicamente (ST50 y ST100), compost de lodo (CP50 y CP100) y una profundidad (0-20 cm).

Figure 10 (cont.). Field capacity and wilting point of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) soil with different treatments; thermally-dried sewage sludge (ST50 y ST100), composted sewage sludge (CP50 y CP100) at a depth of 0-20 cm.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio permiten comprobar el efecto residual de dos lodos de depuradora procedentes de un ensayo de fitorremediación con cardo en el cultivo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz). También este ensayo con camelina reflejó que es una planta que aprovecha bien la fertilización residual del cultivo anterior, por lo que podría ser considerada en una rotación de cultivos, aprovechando la fertilización remanente sin tener que aportar un nuevo abono al suelo.

Con el lodo secado térmicamente (ST50) se ha obtenido una mejor respuesta del cultivo, aumentando los valores de producción respecto del control y la fertilización con lodo compostado con resto de poda. También con el lodo secado

térmicamente (ST50) se vislumbra un aprovechamiento más eficaz del nitrógeno aplicado (proteína) y un mayor contenido en grasa.

En cuanto a la evolución de las propiedades físico-químicas del suelo se observó que la aplicación de lodo provocó un descenso del pH del suelo frente al testigo, al contrario del efecto en la CE que lo hizo aumentar. El N-NH_4^+ y N-NO_3^- en el suelo de camelina aumentó con la incorporación de lodo de depuradora siendo el lodo secado térmico (ST100) el que adquirió mayor proporción.

Respecto del contenido de la materia orgánica en el suelo y evolución de los nutrientes N, P, K Ca, Mg y Na, en la mayoría de ellos el máximo contenido se encuentra en el suelo donde se ha aplicado

la dosis más alta de lodo secado térmico (ST100), excepto el K, Na. Finalmente, el contenido en micronutrientes Cu, Zn y Ni y metales pesados Cr, Cd y Pb en el suelo, se comprobó que la aplicación de lodos aumentó los contenidos en el suelo de estos elementos respecto del testigo, no superando en ningún caso las concentraciones de metales pesados en suelos con $\text{pH} > 7$, establecido en el RD 1310/1990 (4), el cual regula la utilización de lodos de depuradora en sistemas agrarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. APHA; AWWA; WPCF. 2005. *Standard Methods for the Examination of water and Wastewater.* 21st ed. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington. 874 p.
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. BOE. 1990. Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por lo que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.
5. BOE. 2013a. Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario. *Boletín Oficial del Estado.* 142: 44966-44973.
6. BOE. 2013b. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. *Boletín Oficial del Estado.* 164: 51119-51207.
7. Bremner, J. M. 1982. Nitrogen-Total. In. A.1. Page et al. (ed). *Methods of soil analysis.* Agronomy. 9(2): 595-624.
8. Delgado, M.; Miralles de Imperial, R.; Porcel, M.; Bigeriego, M. 1999. Mineralización del nitrógeno procedente de residuos orgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 15: 19-25.
9. Delgado, M.; Martín, J. V.; Miralles de Imperial, R. 2012. Evaluación de un lodo secado térmicamente en la fertilización de cultivo de cereal. *ITEA.* 106(1): 53-65.
10. Delgado, M.; Miralles de Imperial, R.; Rodríguez, C.; Martín, J. V. 2013. Influencia de la fertilización con lodo secado térmicamente en las propiedades químicas del suelo de tres cultivos de cereal. *ITEA.* 109(1): 1-15.
11. 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.
12. Fernández, J. M.; Senesi, N.; Plaza, C.; Brunetti, G.; Polo, A. 2009. Effects of composted and thermally-dried sewage sludges on soil and soil humic acid properties. *Pedosphere.* 19: 281-291.
13. Gesch, R. W.; Cermak, S. C. 2011. Sowing date and tillage effects on fall-seeded Camelina in the northern Corn Belt. *Agronomy Journal.* 103(4): 980-987.
14. Gugel R. K.; Falk K. C. 2006. Agronomic and seed quality evaluation of *Camelina sativa* in western Canada. *Can. J. Plant. Sci.* 86: 1047-1058.
15. Gutiérrez, M.; Albalat, A. 2013. El cultivo de la camelina en Aragón. *Tierras Agricultura.* 208: 72-79.
16. Hernández, D. 2006. Utilización del purín de cerdo con enmienda orgánica en suelos degradados: valorización agronómica y ambiental. Tesis Doctoral. Madrid. 257 p.

17. Hesse, P. R. 1971. Total nitrogen: the Kjeldahl Process. A Textbook of soil chemical analysis. Murray, Gran Bretaña. 520 p.
18. Horn, P.; Silva, J.; Anderson, D.; Fuchs, J.; Borisjuk, L.; Nazarenus, T.; Shulaev, V.; Cahoon, E.; Chapman, K. 2013. Imaging heterogeneity of membrane and storage lipids in transgenic *Camelina sativa* seeds with altered fatty acid profiles. *The Plant Journal*. 76: 138-150.
19. Imbrea, F.; Jurcoane S.; Hălmăjan H. V.; Duda, M.; Botos, L. 2011. *Camelina sativa*: A new source of vegetal oils. *Rom. Biotech. Lett.* 16: 6263-6270.
20. Johnson, J. M. F.; Gesch, R. W. 2013. Calendula and camelina response to nitrogen fertility. *Ind. Crop. Prod.* 43: 684-691.
21. MAPA. 1994. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Métodos Oficiales de Análisis. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. Tomo III. 662 p.
22. Martinelli, T.; Galasso, I. 2011. Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale. *Anna. Appl. Biol.* 158: 87-94.
23. Miralles de Imperial, R.; Martín, J. V.; Lobo, M. C.; Plaza, A., Delgado, M. M. 2011. Aplicación de dosis altas de lodo de depuradora a cultivo de girasol, efectos en planta y suelo. *Revista Tierras Agricultura*. 184: 74-79.
24. Miralles de Imperial, R.; Martín, J. V.; Lobo, M. C.; Plaza, A., Delgado, M. M. 2012. Comparación de fertilización mineral *versus* lodos de depuradora en cultivo de colza. Efectos en crecimiento y producción. *Revista Tierras Agricultura*. 196: 76-83.
25. Miralles de Imperial, R.; Martín, J. V.; Lobo, M. C.; Plaza, A., Delgado, M. M. 2014. Cultivo de cardo fertilizado con lodo de depuradora. Efectos en biomasa y suelos. *Revista Tierras Agricultura*. 215: 134-139.
26. Molina, J. L. 1989. La cebada. Morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 321 p.
27. Mosquera-Losada, M. R.; Muñoz-Ferreiro, N.; Riguero L., Rodríguez, A. 2010. Agronomic characterization of different types of sewage sludge: Policy implications. *Waste Management*. 30: 492-503.
28. Peñarete, W.; Silva, J.; Urriatia, N. 2013. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre las propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar. *Acta Agronómica*. 62(3): 251-260.
29. SAS. Institute Inc. 1999. User's guide. Cary, North, Carolina, 891-996.
30. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 33-42.
31. Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Natural Resources Conservation Service, U. S. Department of Agriculture Handbook. 436 p.
32. USEPA. 2007. Method 3051 A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. US Gov. Print Office. Washington.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó gracias al proyecto FP12-RES y S2009/AMB-1478 (Consejería de Educación, Comunidad de Madrid).

Los autores agradecen a la empresa Camelina Company España S. L. por proporcionarnos las semillas para trabajar y a las personas Jesús García, María Isabel González y Ángela García por su colaboración en las tareas de campo y laboratorio.

Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización

Production and nutrimental quality of cowpea pods, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, as function of topological arrangement and fertilization type

Patricio Apáez Barrios ^{1,2}, José Alberto Salvador Escalante Estrada ²,
Eliseo Sosa Montes ³, Maricela Apáez Barrios ², María Teresa Rodríguez González ²,
Yurixhi Atenea Raya Montaña ¹

Originales: *Recepción*: 01/09/2015 - *Aceptación*: 09/04/2016

RESUMEN

El frijol chino (FC) se utiliza en alimentación humana y se cultiva en espaldera viva de maíz, pero, son escasos los estudios sobre arreglos topológicos adecuados. En este sistema, la biofertilización (BIO) y fertilización foliar (FF) podrían complementar la nutrición. En Huitzuco, Guerrero, México, durante el periodo lluvioso se sembró FC tipo guía en espaldera de maíz a 80 (D8) y 160 cm (D16) de distancia entre hileras (D), con y sin BIO (B y SB) y con y sin FF (F y SF), para determinar los efectos de D, BIO y FF sobre el rendimiento y calidad nutrimental de vainas. La emergencia del FC se presentó a los 6 días después de la siembra (dds), la floración a los 58 dds, el primer corte de vaina a los 70 dds y el último a los 110 dds. El mayor rendimiento de vaina se logró con D8-B-F (851 g m⁻²), seguido por D8-SB-F (758 g m⁻²) y D16-B-F (657 g m⁻²), con los que se generó la más alta concentración de minerales (6,5%) y proteínas (28,1%), y la menor de carbohidratos solubles y fibras. El mayor rendimiento y calidad nutricional de vaina verde se obtuvo con D8-B-F.

Palabras clave

Vigna unguiculata • biofertilización • espaldera viva de maíz • fertilización foliar

-
- 1 Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". UMSNH (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). Paseo Lázaro Cárdenas esquina con Berlín. C. P. 60080. Uruapan, Michoacán. México. apaez.patricio@colpos.mx.
 - 2 Botánica. Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km. 36.5 carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México.
 - 3 Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. C. P. 56230. Chapingo, Estado de México. México.

ABSTRACT

Cowpea (FC) is used in human feeding, and is cultivated on maize living trellis; however, few studies about suitable topological arrangements are available. Plant nutrition in this system could be completed by biofertilization (BIO) and foliar fertilization (FF). In Huitzuco, Guerrero, Mexico, during the rainy season FC guide type was sowing on trellis maize at 80 (D8) and 160 cm (D16) of distance between rows (D), with and without BIO (B and SB), and with and without FF (F and SF), in order to determine the effect of D, BIO and FF on yield and nutritional quality of pods. Emergence of FC occurred at 6 days after sowing (dds); flowering at 58 dds; the first pod cut at 70 dds and the last at 110 dds. The higher pod yield was achieved with D8-B-F (851 g m⁻²), followed by D8-SB-F (758 g m⁻²) and D16-B-F (657 g m⁻²). This last treatment also generated the highest concentration of minerals (6.5%) and proteins (28.1%), but less carbohydrates and fiber. The highest yield and quality of green pod was obtained with D8-B-F.

Keywords

Vigna unguiculata • biofertilization • maize trellis • foliar fertilization

INTRODUCCIÓN

El frijol chino (FC, *Vigna unguiculata* (L.) Walp.) está adaptado a condiciones de altas temperaturas, resistente a plagas y enfermedades y es una de las leguminosas más tolerantes al estrés hídrico (9).

Los genotipos ejoteros son cultivados en países de Asia, Europa, Oceanía y América, y en México, en los estados de Tamaulipas, Yucatán, Tabasco, Campeche y Guerrero. Produce vainas con longitudes de 28 a 79 cm, las cuales en estado inmaduro se utilizan como verdura en la alimentación humana que son ricas en proteínas, carbohidratos, vitaminas (A y C) y minerales (8). Contiene además importantes cantidades de fibras, cuyo consumo ayuda a prevenir enfermedades como: hemorroides, cáncer colorectal, diabetes y obesidad (36).

Los cultivares de crecimiento indeterminado (guía) son los más utilizados para la producción de vainas, en estos se ha encontrado adecuada complementación al establecerse asociados

con maíz (*Zea mays* L.), el cual les sirve como soporte o tutor. En este sistema de producción se incrementa el uso equivalente de la tierra, la diversidad de productos cosechados y la rentabilidad económica, esto último, debido a que se evita el gasto de la adquisición de postes de madera o concreto y malla plástica usados como espaldera convencional (4).

Comúnmente, la siembra se realiza a distancias entre hileras de 80 cm (5), sin embargo, por el tamaño del dosel vegetal del FC y maíz, podría mejorarse la respuesta productiva con mayor distanciamiento entre plantas al disminuir el autosombreado. La variación en los arreglos topológicos modifica la producción y el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas (1).

Incluir una gramínea en el sistema de producción, demanda mayor cantidad de nutrimentos (11), los cuales son suministrados al suelo, mediante fertilizantes químicos, que además de aumentar

los costos de producción si no se hace un manejo correcto pueden provocar graves daños ambientales (30), y aunque no es posible sustituir por completo su uso, debido a la gran demanda de alimentos, podría complementarse la nutrición de la planta mediante otras tecnologías, como la fertilización foliar. Esta se utiliza para suministrar principalmente micronutrientes, y algo de macronutrientes, habiéndose encontrado que es mayor la efectividad por unidad de nutriente respecto de la fertilización edáfica (2, 35).

La biofertilización (inoculantes a base de microorganismos generalmente bacterias y hongos) puede contribuir a mejorar la nutrición de la planta mediante la fijación de N-atmosférico y aumento del sistema radical (28, 27).

El incremento en el rendimiento con la aplicación de biofertilizantes y fertilizantes foliares, se atribuye a que la planta dispone de mayor cantidad de nutrientes, con lo cual puede hacer más eficiente el uso de recursos naturales como agua y radiación solar. Cuando las plantas cuentan con nutrición apropiada, son más resistentes al ataque de plagas, enfermedades, y consecuentemente producirán más flores, y mayor rendimiento (23).

El uso de estas tecnologías, además de conservar el ambiente podría contribuir a mejorar la calidad nutrimental.

En frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), la aplicación de *Rhizobium etli* + *Glomus intraradices* aumentó en 28% el rendimiento (21).

La mayor fijación de N ocurre al inicio de la etapa reproductiva, lo que mejora el rendimiento y la calidad nutrimental, por la mayor formación de proteínas (18). Así se reporta que la combinación *R. etli* + *G. intraradices* aumentó la concentración de proteínas, fibra cruda y minerales como calcio y fósforo, con la consecuente

disminución de carbohidratos en vainas de frijol ejotero (31). Además, la aplicación vía foliar de micronutrientes como Mn, Zn, Cu, Mo y B incrementó el contenido de proteínas y el rendimiento agronómico (22). Reportes similares se encontraron por otros investigadores (10, 15).

Son escasos este tipo de estudios de FC en espaldera de maíz.

Objetivo

Evaluar el efecto de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar sobre el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas, rendimiento y calidad de vainas del FC.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en Huitzucó, Guerrero. (18°15' N; 99°12' O y 1154 m de altitud), clima Aw₁ es cálido subhúmedo (16), suelo arcilloso, pH 7,4, inicialmente con 0,11% de N-inorgánico (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻) extraído con KCl 2N y 14 ppm de P-Olsen; características físico-químicas determinadas con las metodologías descritas en Motsara y Roy (2008).

En junio de 2012 se sembró FC en espaldera viva de maíz a distancias entre mata de 0,5 m (una planta de cada especie por mata).

Fueron ocho tratamientos: distancias entre hilera de 80 cm (D8) y 160 cm (D16), con y sin biofertilización (B y SB respectivamente) y, con y sin fertilización foliar (F y NF).

El biofertilizante se inoculó disolviendo 13 g de carboximetilcelulosa (adherente) en 0,15 L de agua que se mezcló con 2 kg de semilla, posteriormente se aplicó 38 g de *R. etli* (500 millones de bacterias g⁻¹) y 0,1 kg de *G. intraradices* (30000 esporas kg⁻¹), dejando reposar 12 horas antes de la siembra.

La fertilización foliar fue con la mezcla de 3% de ácido húmico, 6,25% de ácido giberélico, 1,5% de N, 5% de P₂O₅, 5% de K₂O, más S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo y B a 1,5, 0,25, 0,25, 0,6, 0,8, 0,4, 0,4, 0,01 y 0,01 g L⁻¹, respectivamente; fueron seis aplicaciones a dosis de 2 a 3 L ha⁻¹, cada 15 días, partiendo de los 30 días después de la siembra (dds).

Se aplicó todo el P y la mitad de N a los 15 dds y el resto a los 45 dds, totalizando como fertilización al suelo 50 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅. El diseño experimental fue de bloques completos al azar en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones, la parcela grande fue la D, BIO la mediana y FF la parcela chica.

Durante el desarrollo del cultivo se registró: temperatura máxima (°C), mínima (°C) y precipitación pluvial diaria (mm), y días a ocurrencia de las etapas fenológicas según Escalante y Kohashi (1993): emergencia (E), inicio de anthesis (R6), primer corte (C1) y último corte de vaina (C7).

En total fueron siete cortes de vaina de más de 35 cm, uno por semana, determinándose: rendimiento (RVV), número (NV), longitud (LV) y diámetro (DV) de vainas verdes.

Para conocer el requerimiento térmico e hídrico y la eficiencia en el uso del agua del FC, se calculó las unidades calor acumuladas (UC) mediante el método residual (33):

$$UC = [T_{max} + T_{min}]/2 - T_b$$

donde:

T_{max} = temperatura máxima

T_{min} = temperatura mínima

T_b = temperatura base de 10°C (7).

La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calculó a partir de los datos de evaporación del tanque tipo A, usando 0,75

como coeficiente del evaporímetro (Ke) y valores de Kc en función al desarrollo del cultivo, a partir de la ecuación:

$$ETc = Ev * Ke * Kc \quad (3)$$

Para evaluar (34) la calidad nutricional de las vainas del FC (minerales, carbohidratos solubles, proteínas, grasas y fibra cruda, todas en porcentaje), las muestras se secaron y trituraron en un molino eléctrico (Modelo Kb 5/10®, Alemania) con criba de 50 µm.

Los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad usando el paquete SAS versión 9,1 (32).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de vaina y componentes

El rendimiento de vaina verde (RVV) y número de vainas (NV), mostró cambios altamente significativos ($P \leq 0,01$) por efecto de distancia entre hileras (D), biofertilización (BIO) y fertilización foliar (FF). La interacción D*FF fue altamente significativa en NV, mientras que D*BIO y BIO*FF fue ($P \leq 0,05$) en RVV (tabla 1, pág. 35).

Con 80 cm entre hileras (D8) se logró aumentar 20% el RVV y 35% el NV, que con BIO aumentaron 14 y 10% respectivamente.

El mayor efecto se produjo con FF, que incrementó 35% el RVV y NV. En cuanto a las interacciones, independientemente de la FF, la inoculación con BIO presentó mayor efecto sobre el RVV en D8 que en la siembra a 160 cm entre hilera (D16), así mismo, el NV mostró mayores incrementos con la aplicación de FF en la siembra a D8 que en D16. También se encontró, que en cualquier D, la FF generó más efecto positivo en el RVV al no aplicar BIO (SB).

Tabla 1. Análisis de varianza del rendimiento de vaina verde (RVV), número de vainas (NV), diámetro de vainas (DV) y longitud de vaina (LV) del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar.

Table 1. Variance analysis of green pod yield (RVV), number of pods (NV), pod diameter (DV) and pod length (LV) of cowpea on trellis maize as function of distance between rows, biofertilization and foliar fertilization.

Factor	RVV	NV	DV	LV
D	**†	**	NS	NS
BIO	**	**	NS	NS
FF	**	**	NS	NS
D*BIO	*	NS	NS	NS
D*FF	NS	**	NS	NS
BIO*FF	*	NS	NS	NS
D*BIO*FF	NS	NS	NS	NS

†*,** = $P \leq 0,01$ y $0,05$, respectivamente. NS = no significativo. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización y FF = fertilizante foliar. RVV = rendimiento de vaina en verde, NV = número de vainas, DV = diámetro de vaina y LV = longitud de vaina.

†*,** = $P \leq 0.01$ and 0.05 , respectively. NS = not significant. D = distance between rows, BIO = biofertilization and FF = foliar fertilization. RVV = green pod yield, NV = number of pods, DV = pod diameter and LV = pod length.

Así por la mayor producción de vainas, la combinación D8-B-F, produjo el mayor RVV, seguida de D8-SB-F y D16-B-F (tabla 2, pág. 36).

Debido al mayor espaciamiento entre hileras, con D16 el RVV fue menor que con D8. El RVV con D8-B-F fue ligeramente inferior a los 960 g m^{-2} reportados por Nwofia (2012) en Nigeria bajo condiciones de monocultivo, suelo con pH 4,8, 1,9% de materia orgánica, 0,05% de N y 27 ppm de fósforo, sin fertilización.

En este trabajo la densidad de población del FC fue menor, ya que se cultivó asociado con maíz. La longitud de vaina (LV) y diámetro de vaina (DV) no fueron diferentes entre tratamientos, y presentaron valores promedio de 39,8 y 0,85 cm respectivamente (tabla 2), similares a los reportados por Apáez *et al.* (2014).

El mayor rendimiento del FC con D8 se atribuye a su mayor densidad de población que produce un uso más eficiente de la

radiación solar y de los nutrimentos del suelo, debido a la mayor y más temprana cobertura del dosel, lo que hace más eficiente el uso del agua, recurso limitante (11, 17) en comparación con D16.

Respuesta similar produjo el frijol común, 50% más a 30 cm que a 60 cm, y el haba (*Vicia faba* L.), 22% más de rendimiento a 20 cm que a 40 cm de distancia entre hileras. Sin embargo, la producción por planta aumentó con la distancia: 15% en frijol común y 63% en haba (1, 6).

El bajo nivel de fertilidad inicial del suelo (N-inorgánico de 0,11% y 14 ppm de P), aunado a la baja fertilización edáfica (50 y 50 kg de N y $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) pudo haber favorecido la respuesta a la aplicación de BIO y FF en el cultivo.

Con la FF se suministró macro y micro nutrimentos vía foliar, que de acuerdo con Trejo-Tellez *et al.* (2003) es de mayor la efectividad en relación con la fertilización edáfica.

Tabla 2. Rendimiento de vaina verde (RVV en peso fresco), número de vainas (NV), diámetro de vainas (DV) y longitud de vaina (LV) del frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar.

Table 2. Green pod yield (RVV as fresh weight), number of pods (NV), pod diameter (DV) and pod length (LV) of cowpea as function of distance between rows, biofertilization and foliar fertilization.

D	BIO	FF	RVV (g m ⁻²)	NV (No. m ⁻²)	DV (cm)	LV (cm)
D8	B	F	851a [†]	86 a	0,87 a	40,9 a
		SF	645c	64 c	0,85 a	40,2 a
	SB	F	758b	78 b	0,86 a	40,2 a
		SF	497d	53 e	0,81 a	38,4 a
D16	B	F	657c	61 cd	0,87 a	40,5 a
		SF	535d	47 ef	0,83 a	39,8 a
	SB	F	654c	55 de	0,85 a	39,4 a
		SF	444d	45 f	0,83 a	38,9 a
Media general			630	61	0,85	39,8
DMS _{0,05}			91,8	7,8	0,06	2,83
CV			7,2	5,7	6,4	7,1

[†] Letras distintas en la misma columna indican diferencias, Tukey*, **, P ≤ 0,01 y 0,05 respectivamente. DMS_{0,05} = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación. D = distancia entre hileras, D8 = 80 cm, D16 = 160 cm, BIO = biofertilización, B = con BIO, SB = sin BIO, FF = fertilización foliar, F = con FF, SF = sin FF.

[†] Different letters in the same column indicate differences, Tukey*, **, P ≤ 0.01 and 0.05 respectively.

DMS_{0,05} = minimum significant difference, CV = coefficient of variation. D = distance between rows, D8 = 80 cm, D16 = 160 cm, BIO = biofertilization, B = with BIO, SB = without BIO, FF = foliar fertilization, F = with FF, SF = without FF.

Con BIO se reporta aumento de la fijación de nitrógeno atmosférico (27), mayor área de exploración radical y consecuentemente más absorción de agua y nutrimentos del suelo (20).

Respuestas similares a las encontradas en este estudio fueron reportadas en FC en unicultivo por Dekhane (2011) y en haba por Galal (2010) al inocular cepas de *Rhizobium* y la combinación *Rhizobium + Bacillum megaterium* var. Phosphaticum y en sorgo (*Sorghum bicolor*) por Rangel *et al.* (2014), al inocularlo con *Azospirillum brasilense*.

Calidad nutrimental del rendimiento de vaina

Los contenidos de minerales, proteínas y carbohidratos solubles (CS) presentaron

cambios significativos por efecto de la distancia entre hileras (D).

La biofertilización (BIO) modificó la concentración de minerales, CS y fibra cruda. Mientras que la fertilización foliar (FF) afectó la cantidad de proteínas y CS.

Las interacciones D*BIO y D*FF afectaron a las proteínas, CS, D*BIO a minerales y fibra cruda. BIO*FF a minerales y fibra cruda. La interacción D*BIO*FF afectó a todos los componentes determinados a excepción de grasas (tabla 3, pág. 37).

El FC cultivado en espaldera de maíz a D8 mostró incrementos de 7 y 3% respectivamente en la concentración de minerales y proteínas de las vainas respecto de D16. Sin embargo, el contenido de CS bajó en 3%.

Tabla 3. Análisis de varianza de los componentes de calidad nutrimental para vaina verde del frijol chino en espaldera de maíz, en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar.

Table 3. Nutritional quality components of cowpea green pod in trellis maize analysis of variance, as function of distance between rows, biofertilization and foliar fertilization.

Factor	Minerales	Proteínas	Grasas	CS	Fibra cruda
D	**†	**	NS	**	NS
BIO	*	NS	NS	**	**
FF	NS	**	NS	**	NS
D*BIO	**	**	NS	**	*
D*FF	NS	*	NS	*	NS
BIO*FF	**	NS	NS	NS	*
D*BIO*FF	**	**	NS	**	*

†*, ** = $P \leq 0,01$ y $0,05$, respectivamente. NS = no significativo. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización y FF = fertilización foliar. CS = carbohidratos solubles, FC = fibra cruda.

†*, ** = $P \leq 0.01$ and 0.05 , respectively. NS = not significant. D = distance between rows, BIO = biofertilization, FF = foliar fertilization. CS = soluble carbohydrates, FC = crude fiber.

Efectos similares fueron reportados en frijol común por Abubaker (2008) y Bakry *et al.* (2011). En contraste, Russo (2006) no encontró efecto de D.

La inoculación con BIO aumentó la concentración de minerales y mejoró la digestibilidad de las vainas al disminuir fibra cruda. Esto concuerda con lo reportado en haba, la cual redujo 0,5% la concentración de fibras por la inoculación con *R. etli*.

La más alta calidad nutricional provocada por BIO puede estar relacionada con la mayor fijación de N-atmosférico de *R. etli* y el mayor crecimiento radical por *G. intraradices*, que posiblemente incrementó la absorción de nutrientes hacia la vaina (31).

Con FF mejoró la concentración de minerales y sobre todo de proteínas, sin embargo disminuyó el contenido de CS. El efecto positivo de FF en la calidad nutrimental de las vainas puede atribuirse a que además de aportar macronutrientes, también es fuente de boro y magnesio, los

cuales de acuerdo con Kozera *et al.* (2013) contribuyen de manera significativa a la síntesis de proteínas.

En cuanto a las interacciones, la inoculación del BIO incrementó más la concentración de minerales (3%) y fibra cruda (5,6%) en la siembra a D8 que a D16.

Sin embargo, también en D8 provocó mayor reducción en el contenido de CS (-2,2%). Por otra parte, independientemente de la BIO, la aplicación de FF fue más efectivo en el incremento de proteínas y CS en D16 (6,8 y 2,8%, respectivamente).

Así mismo, en ambas D, la FF aumentó más la concentración de minerales cuando no se aplicó BIO (10,5%), aunque también redujo en mayor medida la concentración de fibra cruda (-6,1%).

Así, las combinaciones D8-B-F, D8-SB-F y D16-B-F además de aumentar el RVV, también mejoraron la calidad nutrimental del FC, al incrementar la concentración de minerales y proteínas, y disminuir los CS, y fibras (tabla 4, pág. 38).

Tabla 4. Análisis nutrimental (% en base seca) de vainas verdes de frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar.**Table 4.** Cowpea green pods nutrient analysis (% as dry basis) as function of distance between row, biofertilization and foliar fertilization.

DH	BIO	FF	Minerales	Proteínas	Grasas	CS	Fibra cruda
D8	B	F	6,52 a [†]	28,08 a	1,86a	47,86 d	15,67 a
		NF	6,47 ab	27,66 ab	1,78 a	48,24 cd	15,88 a
	SB	F	6,61 a	28,42 a	1,96 a	48,54 cd	14,46 c
		NF	6,01 cd	27,05 bc	1,79 a	49,72 b	15,43 ab
D16	B	F	6,01 cd	28,25 a	1,81 a	48,96 bc	14,96 bc
		NF	5,89 d	26,1 d	1,70 a	50,64 a	15,66 a
	SB	F	6,24 bc	27,85 ab	1,75 a	49,68 b	14,48 c
		NF	5,62 e	26,41 cd	1,71 a	50,84 a	15,41 ab
Media general			6,17	27,48	1,80	49,31	15,24
DMS _{0,05}			0,26	0,91	0,34	0,83	0,53
CV			1,90	1,29	8,9	0,73	1,47

[†] Letras distintas en la misma columna indican diferencias, Tukey *, ** = $P \leq 0,01$ y $0,05$ respectivamente. DMS_{0,05} = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización, B = con biofertilización, SB = sin biofertilización, FF = fertilización foliar, F = con FF, NF = sin FF. D8 = D de 80 cm, D16 = D de 160 cm. CS = carbohidratos solubles.

[†] Different letters in the same column indicate differences, Tukey *, ** = $P \leq 0.01$ and 0.05 respectively. DMS_{0,05} = minimum significant difference, CV = coefficient of variation. D = distance between rows, BIO = biofertilization, B = with biofertilization, SB = without biofertilization, FF = foliar fertilization, F = with FF, NF = without FF. D8 = 80 cm of D, D16 = 160 cm of D, CS = soluble carbohydrates.

De acuerdo con el análisis nutrimental del FC, en promedio 100 g de materia seca de vainas aportan 6,2 g de minerales, 27,5 g de proteína, 8,9 g de grasa, 49,3 g de carbohidratos solubles, 15,2 g de fibra cruda (tabla 4).

Por lo que es un alimento de alta calidad proteica, que lo hace una alternativa para incrementar su consumo y por ser rico en fibra contribuir probablemente a reducir enfermedades del colon, como diverticulosis, constipación, hemorroides, cáncer colorectal, obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares (36).

Aunque con, D8-SB-F, D16-B-F y D16-SB-F disminuyó el contenido de fibra cruda, la concentración de estas puede considerarse alta (> 14%).

Al comparar los datos nutrimentales de vainas de frijol común presentados por Salinas *et al.* (2012), se puede decir que el consumo del frijol chino proporciona más ventajas, ya que es superior 40% en proteína, 12% en carbohidratos y 84% en grasa.

Clima, fenología unidades calor y evapotranspiración

En la tabla 5 (pág. 39), se presenta la temperatura máxima (T_{máx}), temperatura mínima (T_{mín}) (media decenal) y la precipitación pluvial estacional (suma decenal), se observa que durante el ciclo del cultivo en promedio la T_{máx} osciló entre 32,5 y 35,5°C y la T_{mín} entre 16,9 y 18,6°C.

Tabla 5. Temperaturas máximas y mínimas (media decenal), unidades calor, evapotranspiración y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz.

Table 5. Maximum and minimum temperatures (ten days mean), heat units, evapotranspiration and precipitation (ten days sum) during the growing cycle of cowpea on maize trellis.

Mes	Decena	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)	UC (°C d)	ETc (mm)	Etapas fenológica
junio	20	35,5	17,5	52,0	65,3	7,4	S-E
junio	30	34,0	18,6	36,5	163,0	23,9	
julio	10	33,6	17,5	118,0	155,8	14,4	
julio	20	34,4	17,2	14,5	158,5	29,9	
julio	30	32,6	17,4	135,5	165,5	28,4	
agosto	10	32,5	18,1	108,5	153,3	33,6	
agosto	20	34,3	17,6	54,0	159,8	43,3	R6
agosto	30	33,2	17,5	124,8	169,3	36,2	C1
septiembre	10	33,6	17,5	110,8	155,5	30,0	
septiembre	20	34,3	18,3	52,0	163,3	27,5	
septiembre	30	34,2	17,0	117,0	156,0	25,5	
octubre	10	34,2	16,9	16,5	63,0	9,6	C7

UC = unidades calor, ETc = evapotranspiración, S = siembra, E = emergencia, R6 = inicio de floración, C1 = primer corte de vaina y C7 = último corte de vaina.

UC = heat units, ETc = evapotranspiration, S = sowing, E = emergency, R6 = start of flowering, C1 = first cut pod, C7 = last cut pod.

La temperatura más alta se presentó en la primera decena, es decir, de siembra (S) a emergencia (E), posteriormente tendió a disminuir.

La precipitación acumulada durante la estación de crecimiento fue de 940 mm, de la cual, el 49% (465 mm) ocurrió en la etapa vegetativa, que corresponde al período entre S e inicio de floración (R6).

De acuerdo con Dugje *et al.* (2009), tanto la temperatura como la precipitación ocurridas durante el estudio, fueron apropiadas para una buena expresión del rendimiento del FC.

El tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas en FC no se modificó por efecto de los tratamientos, así, la E se presentó a los 6 días después de la siembra (dds), R6 a los 58 dds, el primer corte de vaina

(C1) a los 70 dds y el último corte (C7) a los 110 dds (tabla 5).

Al respecto Peksen y Peksen (2012) en líneas avanzadas de FC cultivadas en clima cálido reportan que estas llegaron a floración entre los 52 y 64 dds, similarmente a lo encontrado en este estudio.

En haba, Escalante y Rodríguez (2011) encontraron que el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas no se modificó a causa de prácticas agronómicas como arreglos topológicos y fertilización. Sin embargo, en frijol común se han registrado seis días de aumento en el ciclo del cultivo al aumentar la densidad de población (1).

Las variaciones en respuesta podrían atribuirse a que se trata de diferentes cultivos.

La acumulación de unidades calor de S a C7 fue de 1728°C d, distribuidas 876°C d en la etapa vegetativa (E a R6) y 852°C d en la etapa reproductiva (C1 a C7).

Mientras que la evapotranspiración total fue 310 mm, de la cual, 46% fue durante la etapa vegetativa. Valores similares fueron reportados por Guangyao *et al.* (2006) y Apáez *et al.* (2013) en condiciones ambientales parecidas

CONCLUSIONES

Los factores, distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar no modificaron el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas del frijol chino, pero sí el rendimiento y calidad nutrimental de vaina verde.

La mayor producción se logró con la siembra entre hileras a 80 cm, con biofertilización y con fertilización foliar. Tratamiento con el que se obtuvo la mayor calidad nutrimental debido a la mayor concentración de minerales y proteínas y menor de carbohidratos y fibras.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abubaker, S. 2008. Effect of plant density on flowering date, yield and quality attribute of bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under center pivot irrigation system. American Journal and Biological Science. 3: 666-668.
2. Alayón Luaces, P.; Rodríguez, V. A.; Píccoli, A. B.; Chabbal, M. D.; Giménez, L. I.; Martínez, G. C. 2014. Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(1): 87-96.
3. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Riego y drenaje. Manual. 56. FAO. Roma. 296 p.
4. Apáez, B. P.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T. 2013. Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. Revista Chapingo Serie Horticultura. 19: 129-140.
5. Apáez, B. P.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T.; González, C. M. C.; Apáez, B. M. 2014. Analysis of growth and production in maize trellis with nitrogen and phosphorous. International Journal of AgriScience. 4(2): 102-108.
6. Bakry, B. A.; Elewa, T. A.; El Karamany, M. F.; Zeidan, M. S.; Tawfik, M. M. 2011. Effect of row spacing on yield and its component of some faba bean varieties under newly reclaimed sandy soil condition. World Journal of Agricultural Science. 7: 68-72.
7. Barrios, G. E. J.; López, C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. Agrociencias. 43: 29-35.
8. Coker, C.; Ely, M.; Freeman, T. 2007. Evaluation of yardlog bean as a potential new crop for grower in the Southeastern United States. Hort Technology. 17(4): 592-594.
9. Dadson, R. B.; Hashem, F. M.; Javaid, I.; Allen, A. L.; Devine, T. E. 2005. Effect of water stress on yield of cowpea genotypes in the Delmarva region of the United States. Journal of Agronomy and Crop Science. 191: 210-217.
10. Dekhane, S. S.; Khafi, H. R.; Raj, A. D.; Parmar, R. M. 2011. Effect of biofertilizer and fertility levels on yield, protein content and nutrient uptake of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. Legume Research-An International Journal. 31: 51-54.
11. Delgado Martínez, R.; Escalante Estrada, J. A. S.; Morales Rosales, E. J.; López Santillan, J. A.; Rocandio Rodríguez, M. 2015. Producción y rentabilidad del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 15-25.

12. Dugje, I. Y.; Omoigui, L. O.; Ekeleme, F.; Kamara, A.Y.; Ajeigbe, H. 2009. Farmers' guide to cowpea production in west Africa. IITA, Ibadam, Nigeria. 19 p.
13. Escalante, E. J. A.; J. Kohashi, S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 84 p.
14. Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. Ciencias Agrícolas Informa. 20: 16-25.
15. Galal, A. O.; Izzeldin, A. F.; ElHassan, G. A. 2010. Effects of biological and mineral fertilization on yield, chemical composition and physical characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) Cultivar Seleim. Pakistan Journal of Nutrition. 9: 703-708.
16. García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 252 p.
17. García, M.; Herrera, P.; Birbe, B.; Colmenares, O.; Martínez, N. 2002. Efecto de dos densidades de siembra y cinco edades de cosecha sobre el rendimiento y calidad del heno de follaje de frijol bayo (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Revista Científica. 12: 584-586.
18. Grageda, C. O. A.; Vermoesen, A.; Cleemput, O. V.; Peña, C. J. J. 2000. Efecto del tipo de suelo, humedad y fuentes de nitrógeno en las emisiones de N₂ y N₂O. Terra Latinoamericana. 18: 1-9.
19. Guangyao, W.; Milton, E. M.; Jeff, D. E.; Marchis, E. C. S. 2006. Competitive ability of cowpea genotypes with different growth habit. Weed Science. 54(4): 775-782.
20. Hernández, A. F. 2008. La inoculación *Glomus hoilike-Bradirhizobium japonicum* en la producción de soya variedad Verónica para semilla. Cultivos tropicales. 29: 41-45.
21. Irizar, G. M.; Vargas, V. P.; Garza, G. D.; Tut, C. C.; Rojas, M. I.; Trujillo, C. A.; García, S. R.; Aguirre, M. D.; Martínez, G. Y. 2003. Respuesta de los cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. Agricultura Técnica de México. 29(2): 213-225.
22. Kozera, W.; Barczak, B.; Knapowski, T.; Ralcewicz, M. 2013. Total and fractional contents of proteins in bean seeds under the conditions of varied fertilization with microelements. Journal of Central European Agriculture. 14: 319-327.
23. Mejía, B. Y.; Álvarez, A. M.; Luna, B. G. 2011. Efectividad de un biofertilizante foliar sobre el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), blue field, R. A. A. S. Ciencia e interculturalidad. 8(4): 128-140.
24. Motsara, M. R.; Roy, R. N. 2008. Guide to laboratory establishment for nutrient analysis. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.
25. Nwofia, G. E. 2012. Yield and yield components in vegetable cowpea on an ultisol. African Journal of Agricultural Research. 7(28): 4097-4103.
26. Peksen, E.; Peksen, A. 2012. Evaluation of vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Breeding lines for cultivar development. University Journal of Institute of Science and Technology. 2(4): 9-18.
27. Rangel Lucio, J. A.; Ramírez Gamma, R. M.; Cervantes Ortíz, F.; Mendoza Elos, M.; García Moya, E.; Rivera Reyes, J. G. 2014. Biofertilización de *Azospirillum* spp. y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(2): 231-238.
28. Rodríguez, B.; López, M. 2009. Evaluación de la fertilización biológica del frijol con cepas nativas de *Rhizobium* aisladas de un ultisol de la planicie del estado de Guárico. Agronomía Tropical. 59: 381-386.
29. Russo, V. M. 2006. Mineral nutrient and protein content in tissue, and yield of navy bean, in response to nitrogen fertilization and row spacing. Journal of Food Agriculture and Environment, 4(2): 168-171.
30. Sabate, P. P. 2001. Efectos medios ambientales de las prácticas agrícolas y su contabilización. Revista Técnica Contable. 849-860.
31. Salinas, R. N.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T.; Sosa, M. E. 2012. Rendimiento y calidad nutrimental del frijol ejotero en dos ambientes. Revista Fitotecnia Mexicana. 35(4): 317-323.
32. SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
33. Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. Agricultural and Forest Meteorology. 35: 353-358.

34. Sosa, P. E. 1979. Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Departamento de zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
35. Trejo-Téllez, L. I.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Alcántar-González, G.; Vázquez-Alarcón, A. 2003. Fertilización foliar específica para corregir deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo. *Terra Latinoamericana*. 21(3): 365-372.
36. Valencia, G. F. E.; Román, M. M. O. 2004. La fibra dietaria como alimento funcional. *Vitae*. 11(2): 12-17.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación. Registro Núm. 222753 (2010).

Respuesta de diferentes variedades de cítricos a los daños causados por fuertes heladas en la región central de Santa Fe

Response of some *Citrus* species to frost damage at the central area of Santa Fe, Argentina

Norma Guadalupe Micheloud ¹, Damián César Castro ^{1,2}, María Alejandra Favaro ¹,
Marcela Alejandra Buyatti ¹, Rubén Andrés Pilatti ¹, Norberto Francisco Gariglio ¹

Originales: *Recepción*: 11/11/2015 - *Aceptación*: 30/06/2016

RESUMEN

En la región central de Santa Fe, durante los días 7 y 8 de junio del año 2012 se produjeron heladas advectivas de gran intensidad y duración. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar los daños por heladas y el comportamiento vegetativo y reproductivo de diferentes variedades de cítricos, durante la siguiente estación de crecimiento. En las plantaciones se reportaron pérdidas de fruta, defoliaciones y hasta muerte de plantas. La brotación del siguiente ciclo (y) estuvo inversamente relacionada con la defoliación (x) producida ($y=146,32-0,92x$). Se observó una reducida intensidad de floración con predominio de brotes vegetativos y generativos con hojas. El cuajado de los frutos aumentó entre un 69 a 92% en relación con los valores medios de la zona, a excepción de las mandarinas. El rendimiento alcanzado por cada variedad luego de los daños por fuertes heladas se relacionó con su intensidad de floración media en la zona. Las variedades que normalmente desarrollan intensidades de floración superiores a 250 flores cada 100 nudos en años sin fuertes heladas presentaron un rendimiento superior a su valor promedio. En cambio, aquellas que normalmente presentan menores intensidades de floración tuvieron disminuciones de rendimiento entre un 26,3 y 84,5% respecto de su valor medio.

Palabras clave

daño de frío • brotación • floración • producción

1 Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Agrarias. Kreder 2805, Esperanza, Santa Fe, Argentina. nmicheloud@fca.unl.edu.ar

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Rivadavia 1917. Argentina.

ABSTRACT

The aim of this work was to quantify frost damage and the reproductive and vegetative behaviour of some *Citrus* species after intense frost events registered between June 7th and 8th 2012. After the frost events, trees showed severe fruit drop, partial or total defoliation and eventually, tree death. Growth response during the following growing season showed that percentage of sprouting (y) was inversely related to defoliation (x) caused by frost ($y=146.32-0.92x$). Flowering intensity was reduced in the majority of the citrus varieties tested, with a relative increase of vegetative and leafy shoots. Fruit set was increased (69-92%) in relation with years without frost occurrence with the exception of tangerines. Fruit yield of each variety was related with its mean flowering intensity at the central area of Santa Fe. Those cultivars which normally reach high flowering intensities (>250 flowers per 100 nodes) showed higher fruit yield, up to 67% compared to non-frost years. In the other hand, cultivars which normally reach lower flowering intensities showed low fruit yields (<26.3- 84.5%) in comparison with non-frost years.

Keywords

frost injury • sprouting • flowering • fruit yield

INTRODUCCIÓN

El rango de temperaturas óptimas del desarrollo de los *Citrus* está entre 23 y 34°C, el máximo valor es de 39°C y el mínimo de 13°C (1, 9, 20). En regiones tropicales y subtropicales, de donde son originarios, producen varios ciclos de brotación y floración durante el año (9, 22), mientras que en climas templados como el de la región central de Santa Fe (13) presentan un período de reposo invernal causado por el importante descenso térmico (15, 17, 19).

Posteriormente, con el aumento de la temperatura durante la primavera, producen la brotación más importante desde el punto de vista productivo, ya que es la única que presenta brotes florales, a excepción del limonero (1).

En general, los *Citrus* soportan temperaturas por debajo de -2°C (5, 23, 25, 26).

El limonero es la especie cítrica de mayor sensibilidad al frío, mientras que los mandarinos son los más resistentes (1, 5, 26).

La especie *Poncirus trifoliata* es utilizada como pie de injerto y tiene la capacidad de tolerar -15°C (1, 5) confiriendo un mejor comportamiento a la copa ante este factor abiótico.

Los daños por congelación están relacionados con la formación de hielo inter/intracelular (23, 24, 27).

Los daños ocasionados por las heladas dependen de su intensidad (temperatura mínima alcanzada) y duración (5, 8, 23, 24). Los síntomas del daño se pueden expresar en las hojas como manchas necróticas, acartuchamiento, y abscisión (1, 3, 26). Los árboles pueden recuperarse de una defoliación total y aún florecer y dar fruta en la temporada siguiente. También causan daños en la madera de diferentes edades, incluso

en las ramas principales y en el tronco (23, 24, 26).

El grado del daño ocasionado por una helada también está en relación con el nivel de aclimatación de las plantas. Esto se produce cuando los árboles crecen bajo condiciones de temperaturas diurnas entre 20-25°C y registros nocturnos menores a 12,5°C, durante al menos un período de dos semanas. Estas condiciones provocan el cese del crecimiento, y se incrementa la resistencia a las heladas (24, 27).

Por otro lado, la presencia del fruto mantiene activa a la planta por lo que la hace más susceptible al frío (1). Los factores que atenúan el efecto de las heladas son la presencia de cortinas rompevientos, la ubicación topográfica a mayor altitud, un alto contenido hídrico del suelo, la mayor densidad de plantas, un adecuado nivel nutricional de las mismas, entre otros (2, 5, 8).

En la región citrícola litoral de Argentina, durante los días 7 y 8 de junio del año 2012, se produjeron heladas que no respondieron al patrón normal de la zona, ya que las mismas fueron del tipo advectivas. En la región citrícola del Río Uruguay no contaban con antecedentes de una situación similar (7, 12) y, por lo tanto, son escasas las investigaciones relacionadas con su impacto sobre el cultivo de los cítricos.

Objetivo

Caracterizar los daños producidos por estas heladas en la localidad de Esperanza, sobre las plantaciones de cítricos, y su comportamiento durante la siguiente estación de crecimiento.

Hipótesis

Se espera una relación inversa entre defoliación y daños en los brotes causados

por las heladas en cada variedad con su comportamiento vegetativo y reproductivo en la siguiente estación de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental de Cultivos Intensivos y Forestales de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral (C1) y en una finca comercial (C2), ambos predios ubicados en la localidad de Esperanza (31°26' S; 60°56' W; 40 m s. n. m.), provincia de Santa Fe (Argentina). Durante los días 7 y 8 de junio del año 2012, se produjeron heladas advectivas (7, 12), de 11 y 9 horas de duración y de -4,5°C y -4,1°C, respectivamente. Los registros de temperatura se obtuvieron de una estación meteorológica automática Li-cor 1400 ubicada en C1.

Las plantas de cítricos evaluadas tenían 9 años de edad, injertadas sobre pie de injerto *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. y dispuestas a una distancia de plantación de 5 x 3 m. Se evaluaron variedades de naranjo dulce (*Citrus sinensis* (L.) Osb.) del grupo navel, tales como *Newhall* (C2), *Washington navel* (C1) y *Lane late* (C1 y C2), y del grupo blancas, como *Salustiana* (C1), *Midnight* (C1 y C2), *Valencia late* (C1) y *Delta Seedless* (C1). Los mandarinos correspondieron a las variedades *Okitsu* (C1 y C2) del grupo Satsuma (*Citrus unshiu* M.), y *Clemenules* (C1) del grupo de las Clementinas (*Citrus clementina* Hort. ex Tanaka). Además, se evaluaron híbridos como *Ellendale* (C2) y *Murcott* (C2) (*Citrus sinensis* (L.) Osb. X *C. reticulata* Bl.).

Previo a la brotación correspondiente a la primavera del año 2012, se identificaron los tipos de daños según su naturaleza y órgano afectado.

En cada lote experimental se registró la proporción de plantas muertas. Además, en cada variedad se seleccionaron 10 plantas al azar, en las cuales se estimó de manera cuantitativa el porcentaje de frutos caídos, el porcentaje de defoliación en función del follaje persistente (de manera visual), y el daño en ramas, como la proporción de ramas secas en relación con el total de ramas presentes en las copas de los árboles.

Luego de la brotación, y en ambos predios, se realizó el seguimiento fenológico en cada una de las plantas seleccionadas, utilizándose la metodología desarrollada por la EEA INTA Concordia (6, 15). Fueron marcadas cuatro ramas ubicadas en los distintos puntos cardinales de la copa y se cuantificaron los nudos sin brotar, con brotes múltiples, brotes vegetativos (BV), brotes campaneros (FC), flores solitarias (FS), ramilletes florales (RF) y ramos mixtos (BM), y las flores en los brotes multiflorales.

La intensidad de floración se expresó como flores cada 100 nudos (FCN). Fue calculado el porcentaje de cuajado de frutos, como la relación entre el número de frutos luego de la caída fisiológica y el número máximo de flores que presentó cada rama en observación.

A la cosecha, se registró el número total de frutos por árbol y el peso medio de los frutos.

Se estimó el rendimiento (kg.pl^{-1}) multiplicando el peso promedio de los frutos (kg.fruto^{-1}) de cada planta por la cantidad de frutos por planta (frutos.pl^{-1}). También se estimó el rendimiento en kg.ha^{-1} , teniendo en cuenta una densidad de plantación de 660 pl.ha^{-1} en *Okitsu* y de 550 pl.ha^{-1} en las demás variedades.

Los datos obtenidos fueron comparados con los promedios de los cinco años previos, en los cuales las plantas no fueron afectadas por las fuertes heladas,

y se calculó la variación porcentual de los valores correspondientes al ciclo productivo 2012/13, con respecto a dichos años.

Los datos se analizaron mediante el ANOVA utilizando como factores de variación las fincas, variedades, y la interacción entre finca y variedad en aquellas variedades que estaban plantadas en ambas fincas. Los datos provenientes de variedades no compartidas en ambas fincas fueron analizadas mediante un ANOVA donde el único factor fue la variedad. En ambos casos el ANOVA se realizó como en un diseño completamente aleatorizado. Se utilizó el test de DGC para la separación de medias con un nivel de significancia del 5%. Además, se realizaron modelos de regresión lineal entre las variables de brotación y floración con los tipos de daños, y con los componentes del rendimiento, con el fin de observar qué variables explicaron mejor el rendimiento en un año condicionado por heladas extremas. Para el análisis estadístico se utilizó el software Infostat (4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Daños provocados por las heladas

Las fuertes heladas causaron la abscisión de frutos, la cual no mostró diferencias entre fincas ($p = 0,4224$).

La caída fue generalizada en las variedades de recolección tardía, independientemente de la especie y variedad de cítrico (tabla 1, pág. 47).

En las variedades de mandarinas tempranas, tales como *Okitsu* y *Clemenules*, en las naranjas *Newhall*, *Washington navel* y *Salustiana*, la recolección de la fruta fue previa a la ocurrencia de las heladas, por lo que la cosecha no fue afectada.

Tabla 1. Caída de frutos, proporción de ramas dañadas, e intensidad de defoliación de diferentes variedades de cítricos ocasionadas por el efecto de las heladas ocurridas los días 7 y 8 de junio del año 2012. Datos provenientes de dos fincas de la región central de Santa Fe.

Table 1. Fruit drop, branch damage and tree defoliation caused by winter frost on different citrus varieties from two farms at the central region of Santa Fe (Argentina).

	Variedad	Frutos caídos (%)	Ramas con daño (%)	Defoliación (%)
Finca 1	<i>Okitsu</i>	--	75,5 a	67,5 b
	<i>Lane late</i>	100 a	40,0 c	91,0 a
	<i>Midnight</i>	100 a	15,0 d	90,0 a
Finca 2	<i>Okitsu</i>	--	24,0 d	95,0 a
	<i>Lane late</i>	97 a	60,0 b	98,0 a
	<i>Midnight</i>	100 a	34,0 c	88,0 a

-- Cosecha previa a la ocurrencia de las heladas. Diferentes letras entre variedades indican diferencias significativas, según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

-- Harvested before frost occurrence. Different letters within a cultivar indicates significant differences by DGC test ($p \leq 0.05$).

Los daños en las ramas de la copa de los árboles no se diferenciaron entre fincas ($p = 0,3292$; 43,5% en C1 y 39,4% en C2), pero sí difirieron entre variedades ($p < 0,0001$) y hubo interacción entre finca y variedad ($p < 0,0001$). La proporción de ramas dañadas por las heladas, fue menor en la variedad *Midnight* (24,7%), en relación con *Lane late* y *Okitsu* (49,8 y 49,9%, respectivamente). La interacción finca x variedad se explica porque las variedades *Midnight* y *Lane late* presentaron una mayor proporción de ramas dañadas en la finca 2 (+19,4 y 19,5%, respectivamente), mientras que en el cv. *Okitsu* fueron mayores (+51,3%) en la finca 1 (tabla 1).

Los niveles de defoliación difirieron entre fincas ($p < 0,0001$), variedades ($p < 0,0001$), y además hubo una interacción significativa finca x variedad ($p < 0,0001$).

En promedio, la defoliación fue un 11% mayor en la finca 2 (94% en C2 y 83% en C1) y este comportamiento se observó en todas las variedades a excepción de

Midnight, lo cual explica la interacción finca x variedad (tabla 1).

En valores promedios, la variedad *Okitsu*, presentó niveles de defoliación significativamente menores a los de *Midnight* y *Lane late* (81,4; 90,2 y 94,6%, respectivamente).

Las hojas son los órganos de las plantas que primero expresan los efectos de las heladas, su enfriamiento es rápido debido a que tienen una gran superficie y poco volumen en comparación a otros órganos (5, 26).

Además, las ramas, tallos y troncos presentan una mayor resistencia al frío debido a la menor proporción de agua en su composición (27).

Por lo tanto, el nivel de defoliación de los árboles es un buen indicador para evaluar el grado de intensidad o daño provocado por las heladas (3, 12, 25, 26).

El ANOVA indicó que solo hubo diferencias entre fincas para la variable defoliación, y este efecto posiblemente se deba al tipo de cortina presente en cada finca.

La eficacia del cortaviento depende de su estructura y permeabilidad (5, 12, 25). Mientras que la finca 2 cuenta con una cortina de hojas caducas en el lado sur, la finca 1 posee una cortina de especies perennes en los cuatro cuadrantes. Este aspecto es importante teniendo en cuenta el tipo de helada ocurrida que fue de tipo advectiva con una masa de aire frío ingresando desde el sur (7).

Al analizar las variedades que no se encontraban en ambas fincas se observó que la proporción de frutos caídos y la defoliación fueron totales en los cítricos cultivados en la finca 2, tales como los tangors *Murcott* y *Ellendale*, y la naranja *Newhall*.

En la finca 1, la caída de frutos también fue de importancia en las variedades tardías (97-98%) pero la defoliación promedio fue significativamente inferior, fundamentalmente en la mandarina *Clemenules* (82%) y en la naranja *Delta Seedless* (89%).

En cambio, *Washington navel*, *Salustiana* y *Valencia late*, presentaron altas defoliaciones (entre 95 y el 97%), similares a lo mencionado para la finca 2.

Existieron diferencias de comportamiento más marcadas entre las variedades en la proporción de ramas secas.

En la finca 1, *Valencia late* y *Salustiana*, presentaron proporciones de ramas dañadas relativamente bajas (19 y 21%, respectivamente), *Clemenules* y *Delta Seedless* alcanzaron valores intermedios (31 y 36%), mientras que *Washington navel* mostró los valores más altos (50%) de las variedades que no fueron comunes a ambas fincas.

En la finca 2 se observó escaso daño en las ramas en *Newhall*, mientras que la incidencia fue alta para los tangor *Ellendale* (85%) y *Murcott* (100%). En este último caso, la sensibilidad fue muy alta y se produjo la mortandad del 100%

de las plantas. En cambio, ninguna de las otras variedades evaluadas presentó mortandad de plantas.

Estos resultados presentan aspectos comunes a los reportados por el INTA Concordia (12) sobre las plantaciones ubicadas en Concordia, Federación y Chajarí (Entre Ríos), donde los menores daños en el follaje fueron observados en la mandarina *Okitsu*, caracterizada como una variedad de mayor resistencia al frío (1, 5, 24).

Los mayores daños fueron observados en híbridos como *Ellendale* y *Murcott*, mientras que en las naranjas del grupo blancas se registraron daños intermedios.

Brotación y floración

A partir del 01 de septiembre del 2012 se observó el inicio de la brotación.

La intensidad de la misma fue significativamente diferente entre fincas ($p < 0,0001$), variedades ($p < 0,0001$), y además se observó una interacción significativa finca x variedad ($p < 0,0001$).

En términos promedios, la intensidad de brotación en la finca 1 fue superior a la finca 2 (68,7% y 57,4%, respectivamente), y en la variedad *Okitsu* fue superior a *Lane late* y *Midknight* (70,6; 59,4 y 59,2%, respectivamente).

La interacción finca x variedad se explica porque las variedades *Okitsu* y *Lane late* tuvieron un mayor porcentaje de yemas brotadas (IB) en la finca 1 (+10%) en relación con la finca 2, mientras que *Midknight* mostró la misma proporción de yemas brotadas en ambas fincas (tabla 2, pág. 49).

La intensidad de floración (IF), expresada como cantidad de flores cada 100 nudos (FCN), no difirió significativamente entre fincas ($p = 0,2688$; 55,3 y 43,3 FCN en C1 y C2, respectivamente) pero sí entre variedades ($p < 0,0001$).

Tabla 2. Caracterización de la brotación primaveral de diferentes variedades de cítricos afectadas por fuertes heladas invernales en dos fincas de la región central de Santa Fe.

Table 2. Proportion of shoots formed during spring growth on different citrus varieties affected by severe winter frosts in two farms at the central region of Santa Fe (Argentina).

	Variedad	IB (%)	IF (FCN)	BV (%)	FC (%)	FS (%)	BM (%)	RF (%)
Finca 1	<i>Okitsu</i>	77,2 a	42,3 b	50,3 a	21,7 a	28,0 a	0,0 b	0,0 b
	<i>Lane late</i>	70,1 a	103,6 a	33,1 a	22,0 a	14,9 b	21,7 a	8,3 a
	<i>Midknight</i>	58,3 b	20,1 b	71,5 a	23,0 a	1,7 c	1,9 b	1,9 b
Finca 2	<i>Okitsu</i>	64,0 b	36,6 b	47,2 a	25,8 a	27,0 a	0,0 b	0,0 b
	<i>Lane late</i>	48,3 c	42,4 b	46,1 a	17,1 a	21,0 a	11,2 a	4,6 a
	<i>Midknight</i>	60,0 b	50,9 b	52,5 a	26,2 a	7,0 b	10,8 a	3,5 a

Porcentaje de yemas brotadas (IB), intensidad de floración (IF) expresada como flores cada cien nudos (FCN); porcentaje de brotes vegetativos (BV), campaneros (FC), flores solitarias (FS), brotes mixtos (BM) y ramilletes florales (RF). Diferentes letras indican diferencias significativas entre variedades, según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Percentage of sprouted buds (IB), flowering intensity (IF) as flowers per 100 nodes (FCN); vegetative shoots (BV), leafy single flowered (FC), leafless single flowered (FS), leafy inflorescence (BM) and leafless inflorescence (RF). Different letters within cultivars indicate significant differences by DGC test ($P \leq 0.05$).

Además, se observó una interacción finca x variedad ($p < 0,0001$). En promedio, la mayor intensidad de floración la presentó la variedad *Lane late* (73 FCN), en relación con *Midknight* y *Okitsu* (35,5 y 39,5 FCN) que no difirieron entre sí (tabla 2).

La interacción finca x variedad se debió al comportamiento de *Lane late*, cuya intensidad de floración en la finca 1 duplicó al de la finca 2, mientras que lo contrario ocurrió con la variedad *Midknight* (tabla 2).

La proporción de los diferentes tipos de brotes emitidos no se modificó significativamente por efecto de la finca. Además, la proporción de brotes vegetativos ($p = 0,0956$) y campaneros ($p = 0,5534$) tampoco difirió con la variedad.

En cambio, la proporción de flores solitarias ($p = 0,0003$), brotes mixtos ($p < 0,0001$) y ramilletes florales ($p = 0,05$) fueron afectados por la variedad (tabla 2). Los brotes vegetativos fueron los de mayor

importancia relativa en todas las variedades y los brotes campaneros rondaron un valor relativamente alto, en torno al 20% de los brotes emitidos, en todos los casos.

Las flores solitarias tuvieron una importancia poco significativa en *Midknight* y los brotes mixtos y los ramilletes florales fueron más relevantes en *Lane late*. Por el contrario, estos brotes no fueron emitidos por el cv. *Okitsu* (tabla 2).

Al analizar las variedades que no se encontraban en ambas fincas se observó que todas brotaron, excepto *Murcott*, donde las heladas produjeron la muerte de las plantas. Los menores porcentajes de brotación se registraron en *Newhall* y *Ellendale*, cultivadas en la finca 2 (48 y 47%, respectivamente).

En la variedad *Ellendale* la totalidad de las yemas produjeron brotes vegetativos, y en *Newhall* el 85% de las yemas brotadas fueron de este tipo.

Por otro lado, la mayor intensidad de brotación se observó en las variedades cultivadas en la finca 1; en las variedades *Delta Seedless* y *Clemenules* brotaron entre el 74% y el 77% de las yemas presentes.

El inicio de floración se registró el 5 de septiembre y la plena floración un mes más tarde. La mayor intensidad de floración se observó en *Delta Seedless* con 63,3 FCN. La menor intensidad de floración se obtuvo en *New Hall* con 10,9 FCN. Las demás variedades presentaron entre 30 y 45 FCN.

Al analizar la totalidad de las variedades, se observó que la intensidad de brotación disminuyó con la proporción de defoliación que mostraron las plantas luego de las heladas ($p < 0,0018$; $R^2 = 0,6042$), según el modelo $y = 146,32 - 0,92x$, donde 'y' representa la intensidad de brotación y 'x' el porcentaje de defoliación. Las demás variables de daño cuantificadas no se correlacionaron con la intensidad de brotación.

También se encontró una relación significativa entre la IF y la IB ($p=0,0352$), según el modelo: $y = -46,83 + 1,4x$, donde 'x' representa la IB e 'y' la IF, aunque el coeficiente de correlación resultó relativamente bajo ($R^2 = 0,3438$) debido a la variable proporción de brotes vegetativos que emitió cada variedad. En cambio, la IF estuvo mejor correlacionada con la IB en las variedades 'Navels' (*Lane late* y *Washington navel*), en las que predominaron los brotes mixtos y los ramilletes florales ($y = -76,16 + 2,21x$; $p < 0,0001$; $R^2 = 0,42$).

Las características de la brotación de la primavera 2012 y las intensidades de floración observadas en las variedades de cítricos evaluadas no respondieron al comportamiento característico de cada variedad en la zona (tabla 3, pág. 51), (17, 19).

Si se comparan los parámetros promedios de cada variedad en los años

sin ocurrencia de fuertes heladas con los de la brotación del año 2012, se observa que las heladas modificaron la brotación, siendo de menor intensidad en *Midknight* y *Washington navel* (-13 a -14%), y por el contrario, de mayor intensidad en *Salustiana* y en *Okitsu*. En el resto de las variedades, los cambios en la proporción de yemas brotadas fueron muy leves (tabla 3, pág. 51).

La intensidad de floración fue marcadamente inferior en todas las variedades con respecto a años anteriores. La floración fue reducida entre un 83 y un 91% en las variedades *Washington navel*, *Valencia late* y *Midknight*; por el contrario, la variedad menos afectada fue la mandarina *Okitsu*, donde la reducción de la intensidad de floración respecto a un año sin heladas fue del 43% (tabla 3, pág. 51).

Como consecuencia de esto, la proporción de brotes vegetativos aumentó enormemente su importancia relativa (75,3 a 995,5%). Además, se observó un cambio en la proporción relativa de los brotes florales desarrollados. La proporción de brotes campaneros aumentó (61,5 a 424,8%), a excepción de las mandarinas donde disminuyó entre un 3,7 a 31,8%.

La proporción de FS, BM, y de RF decreció de manera muy marcada (tabla 3, pág. 51).

La proporción de FS disminuyó entre 23,5 a 84,7%, la de BM entre 42,5 y 96,2%, y la de RF entre 66 y 93%. Por otro lado, en *Salustiana* la proporción de flores solitarias aumentó como consecuencia del daño de las heladas (tabla 3, pág. 51).

Esta respuesta a las heladas mostradas por las diferentes variedades de cítricos fue similar a lo observado cuando se aplica en forma foliar giberelinas previo al inicio de la brotación (10, 14).

Tabla 3. Datos promedios (2007-2011) de la intensidad de brotación, intensidad de floración, y proporción de los diferentes tipos de brotes emitidos por variedades de cítricos en la zona central de Santa Fe; y variación de estos parámetros ($\Delta\%$) causados por heladas invernales muy intensas.

Table 3. Average data (2007-2011) in percentage of sprouting, flowering intensity, and proportion of different types of shoots formed by Citrus cultivars at the central area of Santa Fe; and changes ($\Delta\%$) in the parameters caused by intense winter frost events.

		% IB	IF (FCN)	% BV	% FC	% FS	% BM	% RF
<i>Okitsu</i>	$\Delta\%$	68,7	74,3	19,3	23,2	50,9	5,6	1,0
		12,4%	-43,1%	163,0%	-3,7%	-42,7%	--	--
<i>Clemenules</i>	$\Delta\%$	78,0	113,3	18,4	43,9	21,3	16,1	0,4
		-0,90%	-64,5%	204,6%	-31,8%	-37,1%	-81,3%	--
<i>Washington navel</i>	$\Delta\%$	67,7	266,0	7,3	4,5	22,2	39,3	26,8
		-14,0%	-83,1%	649,9%	359,3%	-71,3%	-68,4%	-77,7%
<i>Lane late</i>	$\Delta\%$	67,7	290,7	7,2	5,7	20,8	39,5	26,8
		3,5%	-64,4%	417,9%	301,8%	-23,5%	-42,5%	-66,0%
<i>Salustiana</i>	$\Delta\%$	50,0	127,3	31,6	12,5	14,6	31,1	10,2
		25,2%	-73,0%	75,3%	68,5%	29,9%	-82,3%	--
<i>Delta Seedless</i>	$\Delta\%$	72,7	280,0	5,1	5,9	9,4	59,6	20,0
		3,0%	-77,4%	841,6%	424,8%	-60,6%	-72,6%	-93,1%
<i>Valencia late</i>	$\Delta\%$	63,3	220,0	22,9	8,5	7,7	49,3	11,6
		-8,4%	-86,4%	192,3%	158,6%	-78,3%	-81,1%	--
<i>Midnight</i>	$\Delta\%$	67,3	223,0	6,5	14,3	12,3	50,0	16,8
		-13,4%	-91,0%	995,8%	61,5%	-84,7%	-96,2%	-88,7%

Sin desarrollo en el año 2012 (--). Porcentaje de yemas brotadas (IB), intensidad de floración (IF) expresada como flores cada cien nudos (FCN). Proporción de brotes vegetativos (BV), campaneros (FC), flores solitarias (FS), brotes mixtos (BM) y ramilletes florales (RF).

Without data during sprouting of 2012(--). Proportion of sprouted buds (IB), flower intensity (IF) expressed as flowers per 100 nodes (FCN), vegetative shoots (BV), leafy single flowered (FC), leafless single flowered (FS), leafy inflorescence (BM) and leafless inflorescence (RF).

En numerosas condiciones fue comprobado el efecto del ácido giberélico disminuyendo la intensidad de floración como consecuencia de la disminución del porcentaje de los brotes generativos (RF y FS) y un aumento de los brotes que contienen hojas (BV, FC y BM) (8, 9). Este comportamiento es igualmente observado en las brotaciones correspondientes a los años "off" (11, 16).

Cuajado de frutos y rendimiento

A partir de la tercera semana de octubre se produjo el cuajado de los frutos. Este componente del rendimiento no presentó diferencias entre fincas ($p = 0,6277$; 9,5% en C1 y 11,9% en C2) como tampoco entre las variedades comunes a ambas fincas ($p = 0,4347$). El número final de frutos por planta, en cambio sí fue afectado por el efecto finca ($p < 0,0001$) y variedad ($p < 0,0001$).

La carga de frutos fue en promedio un 70% superior en la finca 1 (110,8 frutos.pl⁻¹) en relación con la finca 2 (23,3 frutos.pl⁻¹), siendo la variedad *Okitsu* la de mayor carga, en segundo lugar *Lane late* y por último *Midknight* (93,7; 58,2 y 17,7 frutos.pl⁻¹, respectivamente).

La interacción finca x variedad no fue significativa ($p = 0,5597$).

El peso de los frutos no fue afectado por la variable finca ($p = 0,4164$), pero hubo una interacción significativa finca x variedad ($p < 0,0001$), debido a que en *Lane late* el mayor peso de frutos se observó en la finca 1, mientras que las demás variedades presentaron frutos de mayor peso en la finca 2 (tabla 4).

El rendimiento por planta y por hectárea fue afectado significativamente por las variables finca ($p < 0,0001$), variedad ($p < 0,0001$), y además se observó una interacción significativa entre ambas variables ($p < 0,0001$).

Los rendimientos por planta de la finca 1 fueron superiores en un 74% en comparación a los obtenidos en la finca 2 (17,9 y 4,7 kg.pl⁻¹, respectivamente).

Los rendimientos medios fueron superiores en las variedades *Lane late* y *Okitsu* (16,1 y 14,2 kg.pl⁻¹, respectivamente) con respecto a *Midknight* (3,5 kg.pl⁻¹).

La interacción se explica porque *Lane late* fue la variedad de mayor rendimiento en la finca 1, mientras que en la finca 2 lo fue *Okitsu* (tabla 4).

En cuanto a las variedades que no fueron comunes a ambas fincas, el cuajado de los frutos fue nulo en *Newhall*, mientras que en las demás variedades se registraron valores entre 4 y 15%, sin que las diferencias fuesen estadísticamente significativas.

Comparando los componentes del rendimiento promedio de las diferentes variedades para años sin fuertes daños por heladas con respecto a los registrados durante la campaña 2012/2013, se observó que, a excepción de las mandarinas, el porcentaje de cuajado de frutos fue entre un 69 a 92% superior en el año con daños por las heladas en relación con los registrados en años anteriores en la zona (tabla 5, pág. 53) (17, 19).

Tabla 4. Porcentaje de cuajado de frutos, número de frutos por planta, peso medio de frutos y rendimiento de fruta en diferentes variedades de cítricos cultivadas en dos fincas de la región central de Santa Fe afectadas por fuertes heladas invernales.

Table 4. Fruit set, number of fruits per plant, fruit weight and fruit yield of different Citrus cultivars affected by winter frost events in two farms at the central region of Santa Fe (Argentina).

Finca	Variedad	Cuajado de frutos (%)	Frutos. planta ⁻¹	Peso fruto (g)	Kg.planta ⁻¹	Kg.ha ⁻¹
1	<i>Okitsu</i>	10,4 a	152,7 a	143,2 c	21,9 b	14454 a
	<i>Lane late</i>	4,6 a	96,2 b	289,8 a	27,9 a	15345 a
	<i>Midknight</i>	10,9 a	29,6 c	195,5 b	5,8 c	3183 b
2	<i>Okitsu</i>	7,0 a	40,5 c	183,6 b	7,4 c	4907 b
	<i>Lane late</i>	6,3 a	23,6 c	224,0 b	5,2 c	2908 b
	<i>Midknight</i>	3,0 a	5,75 c	211,7 b	1,2 c	670 b

Diferentes letras en la columna indican diferencias significativas entre variedades, según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Different letters within the same column indicates significant difference by DGC test ($p \leq 0.05$).

Esto se puede deber a la baja intensidad de floración observada en el año con heladas (tabla 2, pág. 49 y tabla 3, pág. 51), que generaría una menor competencia por recursos entre los órganos reproductivos (11, 21).

También se puede explicar por la elevada proporción de brotes campaneros (tabla 2, pág. 49 y tabla 3, pág. 51), que junto con los brotes mixtos tienen un cuajado de frutos que supera a los brotes florales sin hojas (11, 16, 18, 22).

Sin embargo, el elevado porcentaje de establecimiento de frutos no se tradujo en altos valores de frutos por planta (tabla 4, pág. 52 y tabla 5), debido principalmente a la escasez de flores (tabla 2, pág. 49 y tabla 3, pág. 51).

En general, se observó una elevada variabilidad entre plantas en lo referente a su carga de fruta, la cual disminuyó entre un 4 a un 85% en relación con los años previos (tabla 5).

Tabla 5. Valores promedios (S/H; 2007-2011) de los porcentajes de cuajado de frutos, número de frutos por planta, peso medio de frutos y rendimiento de fruta de diferentes variedades de cítricos en la zona central de Santa Fe (Argentina), y cambio ($\Delta\%$) de estos parámetros causados por heladas invernales muy intensas.

Table 5. Average data (S/H; 2007-2011) of fruit set, number of fruits per plant, fruit weight and fruit yield of different Citrus cultivars at the central area of Santa Fe (Argentina); and changes ($\Delta\%$) in the parameters caused by intense winter frost events.

		Cuajado de frutos (%)	Frutos. pl ⁻¹	Peso fruto (g)	Rendimiento	
					Kg.pl ⁻¹	Kg.ha ⁻¹
<i>Okitsu</i>	S/H	10,5	159	184	29,7	19602
	$\Delta\%$	-0,9%	-4,0%	-22,2%	-26,3%	-26,3%
<i>Clemenules</i>	S/H	5,2	217	132	29,2	16060
	$\Delta\%$	-36,5%	-85,0%	3,2%	-84,9%	-84,5%
<i>Washington navel</i>	S/H	0,5	35	284	10,9	5995
	$\Delta\%$	93%	69,0%	5,9%	63,3%	63,3%
<i>Lane late</i>	S/H	1,4	73	280	20,9	11495
	$\Delta\%$	69,6%	31,8%	3,5%	33,5%	33,5%
<i>Salustiana</i>	S/H	4,1	198	189	40,4	22220
	$\Delta\%$	79,0%	-80,7%	11,6%	-80,0%	-80,0%
<i>Delta Seedless</i>	S/H	1,9	106	190	20,3	11165
	$\Delta\%$	83,0%	67,5%	-23,9%	67,6%	67,6%
<i>Midnight</i>	S/H	3,3	40	205	10,1	5556
	$\Delta\%$	69,7%	-26,0%	-4,6%	-42,6%	-42,6%
<i>Valencia late</i>	S/H	2,3	204	211	47,4	26070
	$\Delta\%$	89,2%	-48,6%	-1,2%	-53,8%	-53,8%

Por otro lado, las variedades *Delta Seedless*, *Washington navel* y *Lane late* presentaron una mayor cantidad de frutos por planta en comparación a los años sin fuertes heladas previas a la brotación, lo cual se tradujo en aumentos de rendimiento de estas variedades (tabla 5, pág. 53).

En años sin heladas, en cambio, los mayores rendimientos promedios ocurren en las variedades *Valencia late*, *Salustiana* y *Okitsu* (tabla 5, pág. 53), siendo *Salustiana* y *Clemenules* las variedades que mayor pérdida relativa de rendimiento mostraron como consecuencia de las fuertes heladas.

El rendimiento por planta está estrechamente relacionado con el número de frutos por planta (9, 11, 16), lo cual también fue observado en esta experiencia ($p < 0,0001$; $R^2 = 0,95$).

Es interesante destacar que la variable que mejor explicó el rendimiento por planta luego de los daños por heladas fue la intensidad de floración que fue capaz de alcanzar cada variedad ($y = -1,69 + 0,4x$; $p = 0,0379$; $R^2 = 0,34$), lo cual estuvo relacionado con la intensidad de floración media de cada variedad en la zona. Así, las variedades que normalmente desarrollan elevadas intensidades de floración (superiores a 250 FCN) presentaron mayor número de frutos y mayor rendimiento por planta luego de las fuertes heladas, según el modelo $y = 1,265 \cdot e^{0,0111x}$ ($R^2 = 0,6153$), siendo "x" la intensidad de floración (FCN) promedio de la variedad en la zona e "y" el rendimiento en $\text{kg} \cdot \text{pl}^{-1}$.

Por el contrario, las variedades que normalmente presentan escasa intensidad de floración, mostraron un bajo rendimiento en el año de daños por fuertes heladas.

Si se analiza el cambio de rendimiento de cada variedad en relación con su valor promedio en la zona, se observa que el mismo fue negativo en las variedades que normalmente presentan intensidades de floración menores a 250 FCN, siendo mayor la pérdida de rendimiento cuanto menor es la intensidad de floración promedio de la variedad (tabla 3, pág. 51 y tabla 5, pág. 53).

Por el contrario, las variedades que normalmente presentan intensidades de floración superiores a las 250 FCN fueron capaces de aumentar su rendimiento hasta en 67% en los años con ocurrencia de fuertes heladas invernales a pesar de los daños que sufren las plantas. La ecuación que relaciona ambos parámetros resultó ser:

$$y = -210 + 0,89x$$

donde:

'y' = variación porcentual de rendimiento en el año con heladas respecto del valor medio.

'x' = intensidad de floración media de la variedad en la zona ($P = 0,0063$ y $R^2 = 0,8$).

La variedad *Okitsu* no respondió a lo mencionado precedentemente debido a que es una de las variedades cítricas más tolerantes al frío (1, 5, 23, 26), por lo que su comportamiento y rendimiento resulta relativamente poco afectado por las fuertes heladas en relación con el resto de los cítricos.

CONCLUSIONES

Los principales efectos de las heladas ocurridas durante los días 7 y 8 de junio del 2012 sobre las plantaciones de cítricos fueron la pérdida de la fruta en las variedades de maduración tardía, intensa defoliación y necrosis de ramas en las copas de los árboles, y mortandad de la totalidad de las plantas en el tangor *Murcott*.

En el siguiente ciclo de crecimiento las plantas recuperaron su estructura y área foliar. La brotación disminuyó con el grado de defoliación mientras que la intensidad de floración disminuyó por la menor

brotación y por la menor proporción relativa de los brotes multiflorales (brotes mixtos y ramilletes florales). El porcentaje de cuajado de frutos aumentó considerablemente en la mayoría de los casos. El rendimiento logrado por cada variedad no se relacionó con los daños de defoliación o de brotes afectados, sino con la intensidad de floración que cada variedad fue capaz de alcanzar, lo cual estuvo en relación directa con la intensidad de floración media de cada variedad en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agustí, M. 2003. 2º ed. Citricultura. Madrid, España. Ed. Mundi-prensa. 422 p.
2. Alayón Luaces, P.; Rodríguez, V. A.; Píccoli, A. B.; Chabbal, M. D.; Giménez, L. I.; Martínez, G. C. 2014. Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(1): 87-96.
3. Arco Molina, J. G.; Hadad, M. A.; Gonzalez Antivilo, 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.
4. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 2012. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> (fecha de consulta: 20/03/2013).
5. FAO. 2010. Protección contra heladas: fundamentos, práctica y economía. Vol. 1. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s00.htm>, (fecha de consulta 07/07/2013).
6. Garrán, S. M.; Anderson, C. M.; Garín, R. O. 2005. Metodología para el registro de observaciones fenológicas en cítricos. Actas V Congreso Argentino de Citricultura, Concordia. p.2.
7. Garrán, S. M.; Garín, R. O. 2012. Informe heladas 7, 8 y 9 de Junio de 2012 en la región citrícola del río Uruguay. Informe Técnico. Sistema INTA -FruTIC. 11 p. Disponible en: <http://comunidad.fruitic.org.ar> (fecha de consulta 07/07/2013).
8. Golberg, A. 2010. El viento y la vida de las plantas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 42(1): 221-243.
9. Goldschmidt, E. E.; Koch, K. E. 1996. *Citrus*. In Zamski, E.; Schaffer, A. A. (eds.). Photoassimilate distribution in plants and crops. Source-sink relationships. New York. Basel Hong Kong. Ed. Marcel Dekker. Inc. 797- 822.
10. Gravina, A. 2007. Aplicación del ácido giberélico en Citrus: revisión de resultados experimentales en Uruguay. Agrociencia. 11(1): 57-66.
11. Iglesias, D. J.; Cercos, M.; Colmenero-Flores, J. M.; Naranjo, M.; Ríos, G.; Carrera, E.; Ruiz-Ribero, O.; Lliso, I.; Morillon, R.; Tadeo, F. R.; Talon, M. 2007. Physiology of *Citrus* fruiting. Review. Braz. J. Plant Physiol. 19(4): 333-362.

12. INTA Concordia. 2012. Informe sobre los daños causados en las plantaciones cítricas de la región del Río Uruguay por las heladas ocurridas los días 7, 8 y 9 de junio de 2012. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/documentos> (fecha de consulta 07/07/2013).
13. Köppen, W. 1931. Grundriss der Klimakunde, Walter De Gruyter & Co. Berlin und Leipzig. Aufl. XII. 388 p.
14. Koshita, Y.; Takahara, T.; Ogata, T.; Goto, A. 1999. Involvement of endogenous plant hormones (IAA, ABA, GAs) in leaves and flower bud formation of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Scientia Horticulturae*. 79: 185-194.
15. Liljesthröm, G. G.; Bouvet, J. P. R. 2014. Variaciones numéricas de *Diaphorina citri* Kuwayama (Sternorrhyncha: Psyllidae) y del Ectoparásitoide *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) en una plantación de naranjos de Entre Ríos, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(1): 1-14.
16. Martínez Fuentes, A.; Mesejo, C.; Muñoz-Fambuena N.; Reig, C.; Gonzales-Mas, M. C.; Iglesias, D. J.; Primo-Millo, E.; Agustí, M. 2013. Fruit load restricts the flowering promotion effect of paclobutrazol in alternate bearing *Citrus* spp. *Scientia Horticulturae*. 151: 122-127.
17. Micheloud, N.; Pilatti, R. 2014. Cítricos. En: Gariglio, N. F.; Bouzo, C.; Travadelo, M. R. (eds.). *Cultivos frutales y ornamentales para zonas templado-cálidas. Experiencias en la zona central de Santa Fe. Santa Fe, Argentina. Ediciones UNL*. 25-49.
18. Nebauer, S. G.; Avila, C.; García-Luis, A.; Guardiola, J. L. 2006. Seasonal variation in the competence of the buds of three cultivars from different *Citrus* species to flower. *Trees*. 20: 507-14.
19. Pilatti, R. A.; DAVIS, V. L.; Gariglio, N. F.; Buyatti, M. A.; Micheloud, N. G. 2009. Efecto de la fertilización foliar con nitrógeno sobre la floración, el establecimiento de frutos y el rendimiento en cítricos. *Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias*. 8(2): 19-28.
20. Pimentel, C.; Bernacchi, C.; Long, S. 2007. Limitations to photosynthesis at different temperatures in the leaves of *Citrus limon*. *Braz. J. Plant Physiol*. 19(2): 141-147.
21. Ribeiro, R. V.; Machado, E. C. 2007. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. *Review. Brazilian. J. Plant Physiology*. 19(4): 393-411.
22. Rivas, F.; Martínez-Fuentes, A.; Mesejo, C.; Reig, C.; Agustí, M. 2010. Efecto hormonal y nutricional del anillado en frutos de diferentes tipos de brotes de cítricos. *Agrociencia*. 14(1): 8-14.
23. Saltveit, M. E.; Morris, L. L. 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. In: Wang, C. Y. (Ed.). *Chilling Injury of Horticultural Crops*. Boca Raton, FL USA. CRC Press Inc. 3-15.
24. Thomashow, M. F. 1999. Plant Cold Acclimation: Freezing Tolerance Genes and Regulatory Mechanisms. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*. 50: 571-599.
25. Toledo, S. A. 2011. Las heladas en fruticultura. Chile. Universidad Católica de Valparaíso. Disponible en: <http://www.ecoplant.cl> (fecha de consulta 07/07/2013).
26. Torres-Ramírez, M. A. 2010. Riesgos climáticos en cítricos. *Sintomatología y evolución de daños*. Madrid, España. Ed. Mundi prensa. 21 p.
27. Wang, J.; Li, L.; Dan, Y. 2003. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits. *J. Food Engineering*. 60: 481-484.

Comportamiento productivo de praderas con distintas combinaciones de ovilla (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.)

Productive performance of grasslands with different combinations of orchard grass (*Dactylis glomerata* L.), perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.)

Adelaido Rafael Rojas García¹, Alfonso Hernández Garay², Walter Ayala³, Sergio Iban Mendoza Pedroza⁴, Santiago Joaquín Cancino², Humberto Vaquera Huerata⁵, Mario Alberto Santiago Ortega²

Originales: *Recepción*: 10/12/2014 - *Aceptación*: 20/10/2015

Nota científica

RESUMEN

En la zona central de México existen sistemas de producción animal que tienen como componente importante el uso de praderas puras y asociadas. El objetivo de esta investigación fue evaluar cuatro asociaciones, dos gramíneas y una leguminosa, sembradas en diferentes proporciones. Los tratamientos consistieron de las siguientes asociaciones: 20-40-40, 00-50-50, 40-20-40, y 50-00-50 % de ovilla (Ov), ballico perenne (Ba) y trébol blanco (Tr), respectivamente. Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en 12 parcelas experimentales de 9 por 8 m, de acuerdo con un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se evaluó rendimiento de materia seca, tasa de crecimiento, composición botánica y morfológica y altura de la planta. En rendimiento anual las asociaciones que presentaron mayor rendimiento fueron; 40-20-40 y 20-40-40 con 20,182 y 19,146 kg MS ha⁻¹, respectivamente y la menor, la asociación 00-50-50 con 15,896 kg MS ha⁻¹. La asociación; 40-20-40 es la que mayor tasa de crecimiento anual presentó con 56 kg MS ha⁻¹ d⁻¹. Independientemente de la estación, en composición botánica y morfológica las asociaciones; 20-40-40, 40-20-40 y 50-00-50 fue la que mayor hoja de ovilla presentó con un promedio de 50%. La estación de invierno fueron las que mayor porcentaje de hoja de ballico presentó para la asociación 00-50-50 con 32%.

-
- 1 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia N°2. Universidad Autónoma de Guerrero. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México. rogarcia_05@hotmail.com
 - 2 Recursos Genéticos y Productividad Ganadería. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México - Texcoco. México.
 - 3 Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Ruta 8 km 281. Treinta y Tres. Uruguay.
 - 4 Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 carretera México - Texcoco. Chapingo. Estado de México. México.
 - 5 Estadística. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México - Texcoco. México.

Independientemente de la asociación, en la estación de primavera fue donde se obtuvo mayor altura con un promedio de 37 cm y la menor fue en invierno con un promedio de 15 cm. En conclusión, la asociación; 40-20-40 fue mejor en rendimiento anual, tasa de crecimiento y altura y la menor fue la asociación 00-50-50.

Palabras clave

Dactylis glomerata L. • *Lolium perenne* L. • *Trifolium repens* L. • praderas asociadas • rendimiento de forraje

ABSTRACT

In central Mexico there animal production systems whose major component using pure and associated grasslands. The objective of this research was to evaluate four associations, two grasses and legume planted in different proportions. Treatments consisted of the following associations: 20-40-40, 00-50-50, 40-20-40, and 50-00-50% of orchard grass (Ov), perennial ryegrass (Ba) and white clover (Tr) respectively. The treatments were randomly distributed in 12 experimental plots of 9 and 8 m, according to a design of a randomized complete block with three replications. Dry matter yield, growth rate, botanical and morphological composition and plant height were evaluated. In the association's annual yield higher performance were presented; 40-20-40 and 20-40-40 with 20.182 and 19.146 kg DM ha⁻¹ respectively and the lowest 00-50-50 association with 15.896 kg DM ha⁻¹. The Association; 40-20-40 is the highest annual growth rate presented with 56 kg DM ha⁻¹ d⁻¹. Regardless of the season, botanical and morphological composition associations; 20-40-40, 40-20-40 and 50-00-50 which was higher clew sheet presented with an average of 50 %, the winter season were the highest percentage of ryegrass sheet presented to the association 00-50-50 to 32%. Regardless of the association in the spring season it was where greater height was obtained with an average of 37 cm and the lowest was in winter with an average of 15 cm. In conclusion the association; 40-20-40 was better in annual yield growth rate and lower height and the association was 00-50-50.

Keywords

Dactylis glomerata L. • *Lolium perenne* L. • *Trifolium repens* L. • associated grasslands • forage yield

INTRODUCCIÓN

En la zona central de México existen sistemas de producción animal que tienen como componente importante el uso de praderas puras y asociadas.

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2013),

menciona que en México la superficie total sembrada fue de 112.349.110 ha, con una superficie establecida de pastos de 30.650.105 ha, y un rendimiento promedio de pastos cultivados de 18,7 t MS ha⁻¹ (21).

Las nuevas exigencias que enfrenta la producción agropecuaria en México y en el mundo, apuntan no solo al aumento de la producción agropecuaria competitivamente, sino que debe hacerse de manera sostenible. La sostenibilidad no debe entenderse únicamente en el contexto ecológico, sino en el económico y social (1).

El sistema de pastoreo de gramíneas asociadas con leguminosas, constituye sin duda uno de los pilares de la producción de rumiantes más sostenible y competitiva, se espera que las leguminosas se vuelvan más importantes en un futuro (15).

Grünwaldt *et al.* (2015) mencionan que es indispensable el aporte de alta dosis de fertilizante para tener alto rendimiento de materia seca y proteína en una especie sola. En base a ello, el uso de asociaciones de gramíneas y leguminosas permite tener mayor valor nutritivo y rendimiento de materia seca, con lo que se pueden disminuir los costos de producción en comparación con la utilización de dietas balanceadas y así asegurar una alta producción. Desde el punto de vista ecológico, las leguminosas mejoran la fertilidad del suelo al fijar nitrógeno atmosférico, reduciendo con ello el uso de fertilizantes químicos, así como una mejor intercepción de luz y distribución estacional de la producción de biomasa (3, 9).

Moreno *et al.* (2015) registraron un rendimiento anual de forraje, la mejor asociación fue 10-20-70 de trébol blanco, pasto ovilla y ballico perenne. Durante primavera-verano la pradera pura de ballico perenne y la asociación 10-20-70 de trébol blanco, pasto ovilla y ballico perenne obtuvieron el rendimiento mayor de forraje. La asociación trébol blanco con ovilla y ballico perenne ha llegado a rendir hasta un 52% más forraje cuando el porcentaje de trébol blanco en la pradera fue de 40% y, puede alcanzar hasta un 65% más cuando

se pastorea en primavera-verano a un intervalo de cortes de 28 días (4).

Por otra parte Flores *et al.* (2015) al evaluar diferentes asociaciones de pasto ovilla, ballico perenne y trébol blanco encontraron la mayor producción estacional en primavera y verano aportando el 60% de la producción anual y 40% en otoño e invierno. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar cuatro asociaciones de dos gramíneas y una leguminosa, sembradas en diferentes proporciones, para diferentes variables respuesta: rendimiento de materia seca, tasa de crecimiento, composición botánica y morfológica y altura de la planta, donde se espera encontrar mayor comportamiento productivo con 40% de la leguminosa asociada a las dos gramíneas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó desde septiembre del 2012 a septiembre de 2013, en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado a 19°29' de LN y 98°53' de LO, a una altura de 2.240 m s. n. m. El clima del lugar es templado subhúmedo, con precipitación media anual de 636,5 mm y régimen de lluvias en verano (junio a octubre) y temperatura media anual de 15,2°C (7). El suelo del área es franco arenoso y ligeramente alcalino con pH 7 - 8 (19).

Las praderas fueron establecidas en febrero de 2010, la siembra se realizó en hileras a 30 cm (gramíneas), mientras que la leguminosa fue sembrada en forma perpendicular con una distancia entre surcos de aproximadamente 30 cm; tomando como base las densidades de 20, 30 y 5 kg ha⁻¹ para ovilla, ballico perenne y trébol blanco, respectivamente.

Las praderas no fueron fertilizadas y en la época de estiaje, se proporcionaron riegos a capacidad de campo cada dos semanas.

Antes de iniciar la investigación, se realizó un pastoreo de uniformidad con ovinos cosechando aproximadamente a 5 cm sobre el nivel del suelo. Posteriormente, los pastoreos se efectuaron cada 4 semanas en primavera-verano y cada 5 y 6 semanas durante otoño e invierno, respectivamente.

Cabe mencionar que los ovinos únicamente fueron utilizados como defoladores, mismos que fueron manejados en las parcelas experimentales mediante un cerco eléctrico.

Las asociaciones de gramíneas y leguminosa fueron realizadas mediante el paquete Minitab (17), con un diseño de vértices con tres componentes de la mezcla, con restricción a la leguminosa en un 40 y 50% como mínimo y máximo, respectivamente.

Los tratamientos consistieron de las siguientes asociaciones: 20-40-40, 00-50-50, 40-20-40 y 50-00-50% de ovillo (Ov), ballico perenne (Ba) y trébol blanco (Tr). Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en 12 parcelas experimentales de 9 por 8 m, de acuerdo con un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones.

Rendimiento de materia seca de forraje

Para obtener el rendimiento de forraje en cada parcela, se establecieron aleatoriamente dos cuadros fijos de 0,25 m² al inicio de la investigación, donde se cosechó el forraje presente antes del pastoreo a una altura aproximada de 5 cm sobre el nivel del suelo.

El forraje presente dentro de cada cuadro se depositó en bolsas de papel etiquetadas, se lavó la muestra y se expuso a un proceso de secado en una estufa de

aire forzado, a una temperatura de 55°C durante 72 h.

Posterior a ello, las praderas fueron pastoreadas con ovinos a una altura de 5 cm aproximadamente.

Una vez secas las muestras de forraje se registraron sus pesos en seco, con la suma del rendimiento por corte se obtuvo el rendimiento acumulado de forma estacional y anual.

Tasa de crecimiento de forraje

La tasa de crecimiento promedio estacional de las asociaciones, se calculó con los datos de rendimiento obtenidos en cada corte, en cada una de las repeticiones, con la siguiente fórmula:

$$TC = R / T$$

donde

TC = Tasa de crecimiento promedio estacional (kg MS ha⁻¹ d⁻¹)

R = Rendimiento estacional (kg MS ha⁻¹)

T = Días transcurridos en cada estación

Composición botánica y morfológica

Para obtener la composición botánica y morfológica a mediados de cada estación del año, de las muestras de forraje cosechado para determinar el rendimiento, se tomó una submuestra de aproximadamente 20%.

Cada submuestra se separó en las diferentes especies deseadas (ovillo, ballico perenne y trébol blanco) y no deseadas (malezas).

A las especies deseadas se les separaron sus componentes morfológicos (hojas, tallos, material muerto y flor), para determinar la composición morfológica. Cada componente separado se secó en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55°C por 72 h y se determinó el peso seco.

Para determinar la contribución (porcentaje) de cada componente al rendimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$CBM = (COMP * 100) / R$$

donde

CBM = Composición botánica y morfológica (%)

COMP = Submuestra del componente separado y/o especie

R = Rendimiento (kg MS ha⁻¹)

Altura de la planta

Para estimar la altura promedio por planta, un día antes del pastoreo se realizó 20 mediciones de altura con la regla en cada unidad experimental. Para ello, se utilizó una regla graduada de 100 cm, la cual se colocó al azar en las parcelas, de forma que la parte inferior de la regla graduada quedara a nivel de suelo.

Posteriormente, un dispositivo con el que cuenta la regla, se colocaba de manera vertical arriba del dosel vegetal y se deslizó hacia abajo, hasta que este tocó algún componente morfológico y se registró la altura. Se utilizó el promedio de las 20 alturas registradas.

Datos climáticos

La temperatura máxima mensual osciló entre 24 y 35°C, en tanto que la temperatura mínima mensual osciló entre -13 y 5°C (1).

La temperatura alta se presentó en primavera, y fueron superiores a 30°C, registrándose la máxima en abril con 35°C. La temperatura más baja se registró en otoño con -13°C en el mes de noviembre.

La precipitación acumulada de septiembre de 2012 a septiembre de 2013 fue de 582,3 mm, de los cuales el 78,8% se presentó en los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 2013 acumulando una precipitación de 459 mm.

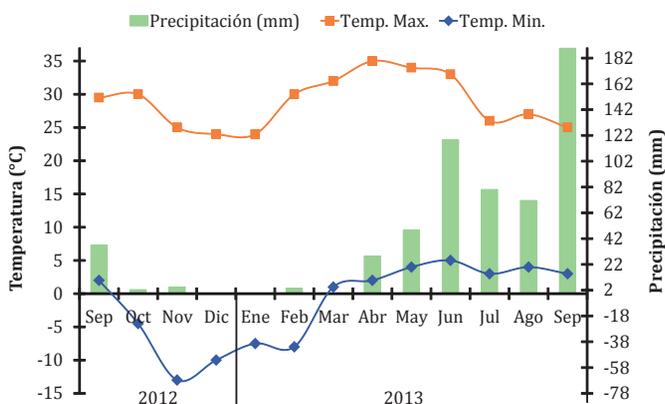


Figura 1. Temperaturas media mensual máxima y mínima y precipitación acumulada durante el período de estudio (2012 y 2013).

Figure 1. Average monthly maximum and minimum temperatures and precipitation accumulated during the study period (2012 and 2013).

Análisis estadístico

Para comparar el efecto de las asociaciones estudiadas, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento de Modelos Mixtos (22), con un diseño de bloques al azar y tres repeticiones. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ajustada ($p = 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de materia seca de forraje

En la tabla 1 se presentan los datos de rendimiento anual y estacional de las asociaciones de ovilla, ballico perenne y trébol blanco.

En general se observa que el rendimiento anual mostró el siguiente orden descendente: 40-20-40 > 20-40-40 > 50-00-50 > 00-50-50 ($p = 0,05$).

La asociación 40-20-40 de ovilla, ballico perenne y trébol blanco superó en 21%

(4.286 kg MS ha⁻¹) a la asociación 00-50-50. Estos resultados fueron similares a los encontrados por Castro *et al.* (2012), quienes obtuvieron un rendimiento de 17.275 kg MS ha⁻¹ con la asociación de trébol blanco, ovilla y ballico perenne.

La distribución estacional del rendimiento anual de forraje de la mejor asociación (40-20-40) presentó el siguiente orden durante las estaciones del año: 44% (primavera) > 25% (verano) > 16% (otoño) > 15% (invierno); mientras que la asociación que mostró el menor rendimiento de materia seca (00-50-50) presentó el siguiente orden durante las estaciones del año: 38% (primavera) > 27% (verano) > 19% (otoño) > 16% (invierno).

Independientemente de la asociación, el rendimiento estacional de materia seca siguió el siguiente orden: 40, 28, 17 y 15% para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente.

Tabla 1. Rendimiento anual y estacional (kg MS ha⁻¹) de ovilla (*Dactylis glomerata* L.) y ballico perenne (*Lolium perenne* L.), asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Table 1. Annual and seasonal efficiency (kg DM ha⁻¹) orchard (*Dactylis glomerata* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) associated with white clover (*Trifolium repens* L.).

Asociaciones	2012		2013		Anual
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	
Ov-Ba-Tr					
20-40-40	3346 cA	2605 dA	8163 aB	5030 bC	19146 A
00-50-50	3042 cB	2593 dB	5980 aD	4281 bC	15896 C
40-20-40	3261 cA	3099 cB	8767 aA	5055 bC	20182 A
50-00-50	3065 cB	2345 dC	6256 aC	5923 bA	17589 B
Promedio	3178 c	2661 d	7292 a	5072 b	

abcd = Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($p = 0,05$);
 ABCD = Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($p = 0,05$).

abcd = Means with same letters lowercase in the same row are not different ($p = 0.05$);
 ABCD = Means with same letters capitalized in the same column are not different ($p = 0.05$).

El mayor rendimiento observado en la estación de primavera se puede atribuir a las altas temperaturas, registradas en esta estación, en contraste en la estación de invierno, el menor rendimiento se atribuye a las bajas temperaturas registradas en el período (figura 1, pág. 61), situación que coincide con Reborá *et al.* (2015), y de acuerdo con Hernández-Garay *et al.* (1997), dichas temperaturas ocasionan reducción en el crecimiento y tasa de acumulación de forraje, por su influencia directa en una menor tasa de aparición y expansión foliar (13), ya que para tener la mejor expresión en el crecimiento se requieren temperaturas de 18 a 21°C para ballico perenne y ovilla, mientras que para el trébol blanco de 24°C (2).

Tasa de crecimiento de forraje

En la tabla 2 se presenta la tasa de crecimiento (TC) estacional y promedio

anual de las cuatro asociaciones de ovilla, ballico perenne y trébol blanco.

Se presentaron diferencias estadísticas entre asociaciones ($p= 0,05$), siendo 40-20-40 con 56 kg MS ha⁻¹d⁻¹, la que registró la mayor TC promedio anual, mientras que 00-50-50 presentó la menor TC promedio con 44 kg MS ha⁻¹d⁻¹.

En general, se observó una marcada estacionalidad en la TC, con los menores y mayores valores en invierno (29 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) y primavera (81 kg MS ha⁻¹ d⁻¹), respectivamente.

Lo anterior se puede atribuir a que las TC aumentan conforme se presentan las temperaturas óptimas para el crecimiento de las asociaciones.

En esta investigación las estaciones de primavera y verano fueron las que presentaron mayores temperaturas (tabla 1, pág. 62), lo que benefició el crecimiento y productividad del forraje.

Tabla 2. Cambios estacionales en la tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹ d⁻¹) de ovilla (*Dactylis glomerata* L.) y ballico perenne (*Lolium perenne* L.), asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Table 2. Seasonal changes in growth rate (kg DM ha⁻¹ d⁻¹) of orchard (*Dactylis glomerata* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) associated with white clover (*Trifolium repens* L.).

Asociaciones	2012		2013		Anual
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	
Ov-Ba-Tr					
20-40-40	37 cA	29 dA	91 aB	56 bB	53 B
00-50-50	34 cB	29 dBC	66 aD	48 bC	44 D
40-20-40	36 cA	34 cB	97 aA	56 bB	56 A
50-00-50	34 cB	26 dC	70 aC	66 bA	49 C
Promedio	35 c	29 c	81 a	56 b	

abcd = Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($p = 0,05$);
 ABCD = Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($p = 0,05$).

abcd = Means with same letters lowercase in the same row are not different ($p = 0.05$);
 ABCD = Means with same letters capitalized in the same column are not different ($p = 0.05$).

Al respecto, McKenzie *et al.* (1999), consignan que dentro de los elementos del clima, las bajas temperaturas en invierno son las que determinan la menor producción y tasa de crecimiento de los forrajes.

Composición botánica y morfológica

La composición botánica y morfológica de las cuatro asociaciones de ovilla, ballico perenne y trébol blanco que se muestra en la figura 2 (pág. 65), presentaron diferencias estadísticas entre asociaciones y estaciones del año ($p = 0,05$).

La contribución de cada especie al rendimiento de las asociaciones fue variable durante el período de estudio; el pasto ovilla en promedio entre las asociaciones obtuvo el siguiente orden descendente: invierno > verano > primavera > otoño, con; 61, 54, 52 y 51%, respectivamente ($p = 0,05$).

La asociación (40-20-40) que mayor porcentaje de ovilla presentó en la estación de verano el 70% ($3.538 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y el menor en la estación de otoño con 44% ($1.434 \text{ kg MS ha}^{-1}$), superando verano a otoño un 59,5%.

La asociación que aporta mayor ballico perene, en la composición botánica y morfológica es 00-50-50, con el siguiente orden descendente en las estaciones del año: invierno > primavera > verano > otoño, con 38, 30, 19 y 18%, respectivamente, superando invierno a otoño un 52,7% ($439 \text{ kg MS ha}^{-1}$).

Independientemente de la asociación, la especie ballico perenne disminuye notablemente. Esto se puede atribuir a la intensidad de cosecha, ya que es un cultivo de hábito de crecimiento erecto, por lo tanto, más susceptible de perder meristemas de crecimiento, en comparación con ovilla y trébol blanco (8, 12).

Sin embargo, independientemente de las asociaciones y estaciones, la asociación

(00-50-50) presentó el mayor porcentaje de otros pastos con 40% en verano, 37% en otoño, 32% en invierno y la menor con 8% en primavera.

Al mismo tiempo que ballico perenne iba reduciendo su persistencia, existió más competencia intra e interespecífica por recursos como luz y nutrientes, causando que otros pastos y maleza invadieran la pradera. Es importante resaltar que trébol blanco es de hábito de crecimiento estolonífero, y esto ayudó para que no se eliminaran meristemas de crecimiento (5).

La asociación que obtuvo el mayor porcentaje de trébol blanco 00-50-50 registró el siguiente orden descendente durante las estaciones del año: 50% (primavera) > 32% (otoño) > 31% (verano) > 30% (invierno), superando primavera a invierno un 40%.

Resultados similares fueron reportados por Castro *et al.* (2012) y Flores *et al.* (2015), donde en la estación de primavera encontraron el aporte mayor de trébol blanco al rendimiento.

Independientemente de la asociación, en la estación de otoño, se encontró el mayor porcentaje de material muerto con un promedio de 18%, mientras que la menor fue en primavera con un 8%.

Altura de la planta

Se registró diferencias significativas entre asociaciones en el promedio anual y durante primavera - verano y entre estaciones del año en altura de la planta (tabla 3, pág. 66).

La mayor y menor altura promedio estacional de la pradera se presentó en primavera e invierno con 37 y 15 cm, respectivamente ($p = 0,05$).

Las asociaciones 40-20-40 y 50-00-50, ambas con 25 cm, registraron la mayor altura promedio anual y la menor la asociación 00-50-50 con 20 cm.

Figura 2. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica de ovido (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) asociado con trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Figure 2. Seasonal changes in botanical and morphological composition of orchard (*Dactylis glomerata* L.), perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) associated with white clover (*Trifolium repens* L.).

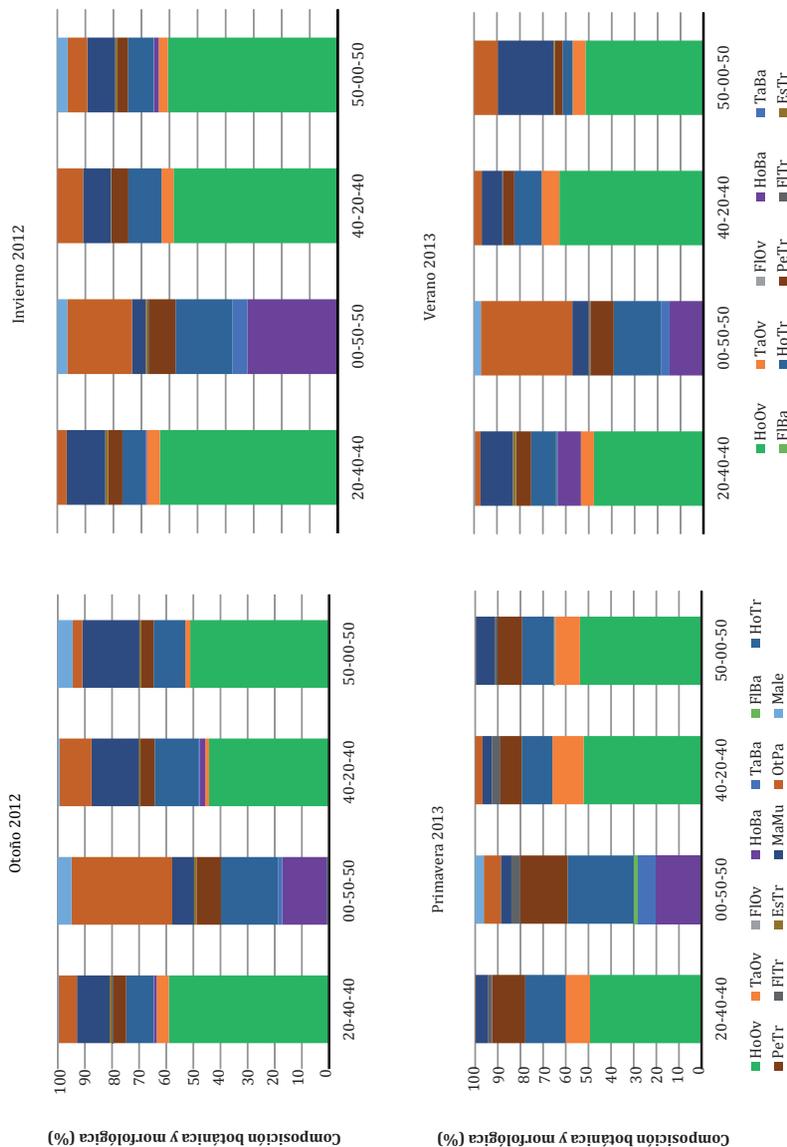


Tabla 3. Cambios estacionales en altura (cm) de ovillo (*Dactylis glomerata* L.) y ballico perenne (*Lolium perenne* L.), asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Table 3. Seasonal changes in height (cm) orchard (*Dactylis glomerata* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) associated with white clover (*Trifolium repens* L.).

Asociaciones	2012		2013		Promedio
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	
Ov-Ba-Tr					
20-40-40	18 bA	15 bA	39 aA	24 bA	24 A
00-50-50	17 bA	14 bA	29 aB	22 abB	20 B
40-20-40	18 bcA	15 cA	40 aA	26 bA	25 A
50-00-50	20 bA	17 bA	40 aA	25 bA	25 A
Promedio	18 c	15 c	37 a	24 b	

abcd = Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($p = 0,05$);
 ABCD = Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($p = 0,05$).

abcd = Means with same letters lowercase in the same row are not different ($p = 0.05$);
 ABCD = Means with same letters capitalized in the same column are not different ($p = 0.05$).

Los cambios estacionales observados en altura de la planta, al igual que los de rendimiento anual y tasa de crecimiento, estuvieron estrechamente relacionados con las condiciones ambientales registradas durante el periodo de estudio, particularmente con las temperaturas óptimas de crecimiento de las especies asociadas (figura 1, pag. 61), presentes en primavera y las bajas temperaturas registradas durante el invierno.

Al respecto, McKenzie *et al.* (1999), consignan que dentro de los elementos del clima, las bajas temperaturas en invierno son las que determinan la menor producción y tasa de crecimiento de los forrajes, en tanto que durante la primavera para tener la mejor expresión en el crecimiento, se requieren temperaturas de 18 a 21°C para ballico perenne y ovillo, mientras que para el trébol blanco de 24°C (2).

Los datos obtenidos en la presente investigación coinciden con los reportados

por Castro *et al.* (2012), quienes en una investigación con ballico perenne, ovillo y trébol blanco encontraron que independientemente del tratamiento la menor altura se registró en invierno con 11 cm, mientras que la mayor fue de 26 cm en verano.

Por otra parte, Velasco *et al.* (2005), quienes observaron diferencias estadísticas entre estaciones y entre frecuencias de cosecha; registrando la mayor altura de ballico perenne en verano con 14,4 y la menor de 7,3 cm en invierno.

CONCLUSIONES

El mayor rendimiento anual de materia seca lo obtuvo la asociación 40-20-40 de ovillo, ballico perenne y trébol blanco.

Todas las asociaciones presentaron estacionalidad en el rendimiento de forraje, siendo mayor en primavera y menor en invierno.

Independientemente de la estación el ovinillo fue la especie que más contribuyó al rendimiento en las asociaciones: 20-40-40, 40-20-40; y 50-00-50, mientras que ballico perenne, trébol blanco y otros pastos lo hacen en la asociación 00-50-50. De las tres especies estudiadas el ballico perenne es la que menor persistencia presenta con el manejo realizado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arriaga, J. C.; Espinoza, O. A.; Albarrán, P.; Castelán, O. O. 1999. Producción de leche en pastoreo de praderas cultivadas: una alternativa para el altiplano central. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Ciencia Ergo Sum. Noviembre. 6(3): 290-300.
2. Brock, J. L.; Tilbrook, J. C. 2000. Effect of cultivar of white clover on plant morphology during the establishment of mixed pastures under sheep grazing. New Zealand Journal of Agricultural Research. (43): 335-343.
3. Camacho, G.; J. L.; García, M. J. G. 2003. Producción y calidad del forraje de cuatro variedades de alfalfa asociadas con trébol blanco, ballico perenne, festuca alta y pasto ovinillo. Veterinaria de México. 34(2): 151-177.
4. Castro, R. R.; Hernández-Garay. A.; Vaquera, H. H.; Hernández, P. G. J.; Quero, C. A. R.; Enríquez, Q. J. F.; Martínez, H. P. A. 2012. Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. Revista Fitotecnia Mexicana. 35(1) 87-95.
5. Durand, J. L.; Schaufele, R.; Gastal, F. 1999. Grass leaf elongation rate as a function of developmental stage and temperature: Morphological analysis and modeling. Annals of Botany. 83: 577-588.
6. Flores, S. E. J.; Hernández, G. A.; Guerrero, R. J. D.; Quero, C. A. R.; Martínez, H. P. A. 2015. Productividad de asociaciones de pasto ovinillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 6(3): 337-347.
7. García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4 (ed). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
8. Garduño, V. S.; Pérez, P. J.; Hernández, G. A.; Herrera, H. J. G.; Martínez, H. P. A.; Joaquín, T. B. M. 2009. Rendimiento y dinámica de crecimiento estacional de ballico perenne, pastoreado con ovinos a diferentes frecuencias e intensidades. Técnica Pecuaria en México. 47(2): 189-202.
9. González, A. S. X.; Días, S. H.; López, T. R.; Aizpuru, G. E.; Garza, C. H. M.; Sánchez, R. F. 2004. Consumo calidad nutritiva y composición botánica de una pradera de alfalfa y gramíneas perennes con diferentes niveles de asignación de forraje. Técnica Pecuaria en México. 42(1): 29-37.
10. 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.
11. Hernández-Garay, A.; Hodgson, J.; Matthew, C. 1997. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass/White clover pastures. 1. Tissue turnover and herbage accumulation. New Zealand Journal Agricultural Research. 40: 25-35.
12. Hodgson, J. 1990. Grazing Management: Ciencia intro Practice. Longman Scientific and Technical. Harlow, England. 204 p.
13. Horrocks, R.; Vallentine, J. F. 1999. Harvested Forages. Academic Press. Oval Road, London, United States of America. 426 p.
14. INEGI. 2013. Agricultura, ganadería, silvicultura, ganadería y pesca. (www.inegi.org.mx) 03 de octubre de 2014.

15. Lüscher, A.; Mueller-Harvey, I.; Soussana, J. F.; Reess, R. M.; Peyraud, L. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*. 69(2): 206-228.
16. McKenzie, B. A.; Kemp, P. D.; Moot, D. J.; Matthew, C.; Lucas, R. J.; 1999. Environmental effects on plant growth and development. In: White J, Hodgson J editors. *New Zealand Pasture Crop Sci.* 29-44 p.
17. Minitab. 2006. *Meet minitab, Manual for the basic practice of statistics*. W Freeman (ed). USA.
18. Moreno, C. M. A.; Hernández, G. A.; Vaquera, H. H.; Trejo, L. C.; Escalante, E. J. A.; Zaragoza, R. J. L.; Joaquín, T. B. M. 2015. Productividad de siete asociaciones y dos praderas puras de gramíneas y leguminosas en condiciones de pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(1): 101-108.
19. Ortíz, S. C. 1997. Colección de Monolitos. Depto. Génesis de suelos. Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
20. Reborá, C.; Barros, A.; Ibaguren, L.; Bertona, A.; Antonini, C.; Arenas, F. 2015. Efecto del grado de reposo invernal de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sobre el rendimiento de heno en el oasis norte de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(2): 43-51.
21. SAGARPA. 2013. *Producción Agrícola en México*. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Disponible en: (<http://www.siap.gob.mx/>) 20 de noviembre de 2014.
22. SAS, Institute. 2009. *SAS/STAT® 9.2. Use's Guide Release*. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.
23. Velasco, Z. M. E.; Hernández, G. A.; González, H. V. A. 2005. Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. *Técnica Pecuaria en México*. 43(2): 247-258.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Línea Prioritaria de Investigación 11 "Sistemas de producción agrícola, pecuaria, forestal, acuícola y pesquera" por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

Leaf expansion and leaf turnover of perennial C4 grasses growing at moderately low temperatures

Expansión y recambio foliar de gramíneas perennes C4 creciendo a temperaturas moderadamente bajas

Germán D. Berone

Originales: *Recepción:* 28/04/2015 - *Aceptación:* 14/03/2016

ABSTRACT

Understanding the mechanisms by which some C4 grasses grow more than others at moderately low temperatures (~12-20°C) is valuable to select materials to lengthen the growing season. In turn, the determination of leaf lifespan for each material to be used is relevant to optimize the balance between herbage production and herbage utilization. The objectives of this study were to analyze the growth capacity and the leaf lifespan in two native materials (*Pappophorum caespitosum* and *Trichloris crinita*) and in four materials introduced (*Cenchrus ciliaris* cv. 'Texas-4464', *Cenchrus ciliaris* cv. 'Bella', *Panicum coloratum* cv. 'Klein' and *Panicum maximum* cv. 'Gatton Panic') commonly used in Argentina. Under non-limiting growth conditions, the rate of leaf appearance and leaf elongation, the number of growing leaves and the leaf lifespan, were measured. The materials showed similar leaf growth capacity through contrasting mechanisms: while three of them (*P. coloratum*, *P. maximum* and *P. caespitosum*) showed higher growth of individual leaves, the rest (*C. ciliaris* cv. 'Texas-4464', *C. ciliaris* cv. 'Bella' and *T. crinita*) showed higher number of growing leaves. The leaf lifespan was not significantly different between materials evaluated. Interestingly, in agreement with previous results obtained in a comparison of C3 grasses, it was observed that materials possessing a greater number of growing leaves had lower values of leaf lifespan.

Keywords

base temperature • C4 grasses • leaf appearance • leaf growth • leaf lifespan

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Ruta Nacional 226, km 73.5, Casilla Correo 276, C. P. 7620. Balcarce, Pcia. de Buenos Aires, República Argentina. berone.german@inta.gob.ar

RESUMEN

Conocer los mecanismos por los cuales algunas gramíneas C4 crecen más que otras a temperaturas moderadamente bajas (~12-20°C) es valioso para seleccionar materiales que permitan alargar la estación de crecimiento. Por su parte, conocer la vida media foliar de las especies es relevante para optimizar el balance entre producción y utilización de forraje. Los objetivos del trabajo fueron analizar la capacidad de crecimiento y la vida media foliar en dos materiales nativos (*Pappophorum caespitosum* y *Trichloris crinita*) y en cuatro materiales introducidos (*Cenchrus ciliaris* cv. 'Texas-4464', *Cenchrus ciliaris* cv. 'Bella', *Panicum coloratum* cv. 'Klein' y *Panicum maximum* cv. 'Gatton Panic') comúnmente utilizados en Argentina. Bajo condiciones no limitantes al crecimiento se evaluó la tasa de aparición y elongación foliar, el número de hojas en crecimiento y la vida media foliar. Los materiales tuvieron similar capacidad de crecimiento foliar con mecanismos contrastantes: mientras tres materiales (*P. coloratum*, *P. maximum* y *P. caespitosum*) mostraron mayor crecimiento por hoja, el resto (*C. ciliaris* cv. 'Texas-4464', *C. ciliaris* cv. 'Bella' y *T. crinita*) mostró mayor número de hojas en crecimiento. La vida media foliar no difirió significativamente entre materiales. Interesantemente, y en concordancia con resultados previos de una comparación de gramíneas C3, se observó que los materiales que poseían un mayor número de hojas creciendo simultáneamente tenían menores valores de vida media foliar.

Palabras clave

temperatura base • gramíneas C4 • aparición foliar • crecimiento foliar • vida media foliar

INTRODUCTION

The continuous increase in the land area dedicated to agriculture that took place in Argentina in the last decade (21) has displaced livestock production to areas with adverse environmental conditions (*e. g.* saline soils, high temperatures, high radiation, low air humidity, flooding) in which C4 materials usually perform better than C3 materials (30, 33). Under such conditions, the availability of C4 materials with a higher growing capacity at daily mean temperatures in a range of 12-20°C would be highly valuable as it will result, if rainfall in spring or autumn is adequate, in lengthened growing seasons and increased primary productivities. In such sense, earlier reports have evidenced better spring performance of a non-native

(*i. e.* introduced) material (cv. 'Bella') of *Cenchrus ciliaris* L. (13) and of a native material (*Pappophorum caespitosum*) from the Argentinean arid Chaco (28) over other C4 materials more frequently used. However, the mechanisms behind this better spring performance often are not known. The scientific understanding of the mechanisms responsible of the expression of this valuable trait will be highly relevant, *e. g.* for breeding programs focused in 'traits' comparison rather than in 'cultivars' comparison and aided by techniques like the monitoring of gene expression at the molecular level (26).

In absence of water and nutritional constraints, differences between grasses in growth per hectare should be explained

by the differences in growth per tiller and/or the differences in tiller density (*i.e.* tillers per hectare). Tiller growth depends of the inter-relationship between the activity of individual intercalary meristems (*i. e.* individual leaf growth) and the number of active meristems (*i. e.* number of growing leaves) (6). Since leaf growth in the *Gramineae* is predominantly unidirectional, parallel to the longitudinal axis of the leaf (37) the leaf elongation rate (LER) is the variable generally used to analyze leaf growth (10). In turn, since each appeared leaf implies a new potential tiller, materials with faster leaf appearance rate per tiller (LAR_T) have the potential to increase faster their tiller population (17). It is important to note that for temperate grasses LER and LAR variables were found to be useful tools to evaluate forage materials likely to be introduced in a region (3, 5, 11, 14, 23).

Another way to increase the productivity of pasture-based livestock systems is an efficient grazing management (18), which involves a compromise between the aim of maximizing light interception by forage leaf area and the aim of maximizing the harvest of leaf tissue before senescence occurs (25).

Consequently, to gain knowledge about leaf lifespan of materials used as forage is a major aim to control and optimize the balance between herbage production and utilization (18). In addition, leaf lifespan is a key plant trait since it links leaf ecophysiology, whole-plant growth and ecosystem processes (31). In fact, differences in leaf biomass turnover rate can lead to different nutrient cycling rates in the ecosystem (7, 35).

Therefore, knowledge about leaf lifespan of native and non-native materials is highly relevant to design efficient and sustainable livestock production systems.

Objectives

The first objective of this study was to compare the leaf growth capacity at relatively low temperatures of *P. caespitosum* and *C. ciliaris* cv. 'Bella' with other native [*Trichloris crinita* (Lag.) Parodi] and introduced materials (*C. ciliaris* cv. 'Texas-4464', *Panicum coloratum* L cv. 'Klein', *Panicum maximum* J cv. 'Gatton Panic') commonly used in Argentina. The second objective was to quantify the leaf lifespan of these materials. It is important to note that, unlike the case for C3 grasses, such kind of comparison among C4 grasses is scarce (23).

MATERIAL AND METHODS

Site and experimental conditions

The experiment was carried out at the Estación Experimental Balcarce of the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina (37°45' S, 58°18' W). On 15 September 2003 (early spring), seeds of *C. ciliaris* cv. 'Texas-4464', *C. ciliaris* cv. 'Bella', *P. maximum* cv. 'Gatton', *P. coloratum* cv. 'Klein', *P. caespitosum* and *T. crinita* were sown equally spaced (50 mm between rows and 30 mm among seeds within a row) in twelve 0.25 m depth · 0.75 m length · 0.35 m width wooden boxes (two boxes per material). Therefore, dense swards were generated. Boxes ("mini-swards") were filled with a 1 : 1 sand : soil mixture. Soil was the A horizon of a Typical Argiudol (organic matter content of 62 g kg⁻¹, pH 6.2). Mini-swards were maintained in a greenhouse until December 1, 2003, when they were transferred outdoors. Mini-swards were fertilized once (December 2003) with superphosphate (3 g P m⁻²) and weekly with urea (5 g N m⁻²), and irrigated twice a week up to soil saturation. Weeds were hand controlled.

Mini-swards were defoliated at a height of 5-7 cm once a month (November 1 and December 1, 2003, January 2, 2004). An appropriate defoliation frequency for each material, based in the leaf lifespan of each material (12, 24) was not possible because values of such parameter were not available and actually, to determine them was one of the objectives of this work.

The measurement period started 28 days after the last defoliation (January 30) at a time when all materials had recovered a substantial amount of leaf green area to reduce the effect of 'potential' differences in defoliation tolerance among materials (8).

The measurement period finished when most of the materials showed an uninterrupted elongation of the pseudostem which was a clear sign of the true stem growth. Thus, the measurement period extended from January 30 to February 24, 2004.

Measurements and calculations

Each material was replicated twice (two mini-swards per material) in a completely randomized design. Eight vegetative tillers per mini-sward, with a similar total blade length (an estimator of tiller size) (27, 29), and located in the middle of the canopy, were randomly marked with plastic rings at the beginning of the measurement period. On each tiller, every 3-4 days the green blade length was measured from the tip to its own ligule in fully expanded leaves and from the tip to the ligule of the previous fully expanded leaf in growing leaves. From these measurements, leaf elongation rate per tiller (LER_t ; mm tiller⁻¹ d⁻¹) and per growing leaf (LER_{Ln} , where n is the leaf number with $n = 1$ for the youngest leaf; mm leaf⁻¹ d⁻¹) were calculated, as the positive differences in blade length between successive measurements.

The number of visible growing leaves (N_G), total green leaves per tiller (N_L) and new leaves appeared per tiller were counted on each date. Leaf appearance rate (LAR_t , leaves tiller⁻¹ d⁻¹) was calculated as the quotient between appeared leaves per tiller and the duration of the measurement period. The phyllochron (*i. e.* interval time between the appearance of successive leaves on a tiller) was estimated as the inverse of LAR_t . The leaf lifespan (LLS) was quantified as the interval of time comprised between the leaf blade appearance (when its tip surpassed the ligule of the subtending leaf) and the senescence of the blade tip.

Simple linear regression between mean air temperature (independent variable) and leaf growth variables (dependent variable: LER_t , LER_{Ln} , LAR_t , N_L , N_G) were obtained per material and per replicate using ordinary least square regression (38). Base temperature (T_b) for LER_t , LER_{Ln} and LAR_t was estimated, for each material and replicate, by extrapolation (*i. e.* calculating the value of the independent variable when the dependent variable equals zero). However, grass leaves undergo ontological changes in their elongation rate (10), and therefore elongation rates of individual leaves should be compared at the same developmental stage (*e. g.* 3). For this reason, for each measurement period, a subset of growing leaves which lengths were lower than two-thirds of their final length were selected (*e. g.* 3). At this developmental stage, LER is close to maximal (10, 34), and therefore it was termed LER_{max} . Phyllochron and LLS values were expressed in thermal time units (accumulated growing degree-days, GDD).

The GDD were calculated as the sum of daily mean temperatures above a base temperature (T_b). For phyllochron, the T_b used for each material was the value

obtained by the regression between LAR_p and mean air temperature. Irrespectively of the material, a T_b of 0°C was used for LLS. Maximum and minimum temperatures were measured daily at 1.5 m height with a portable meteorological station (LI-1200S, Li-Cor Inc., Lincoln, NE).

Statistical analysis

All data were checked for normality and homogeneity of variances. Analyses of variance (ANOVA) were performed for total blade length per tiller (LLT_p) at the beginning of the measurement period, LAR_p , LER_p , LER_{Ln} , N_G , N_L , LLS and T_b using the SAS GLM procedure (SAS Institute, Cary, NC, USA). Means were separated using LSD ($p = 0.05$).

Slopes and intercepts of the linear functions were compared using dummy variables (18). The Pearson correlation coefficient was used to evaluate the strength of the association between variables of interest.

Three contrasts were made. Contrast 1 compares growth capacity of *C. ciliaris* cv. 'Bella' against the rest of materials. Contrast 2 compares growth capacity of *P. caespitosum* against the rest of materials. Contrast 3, was made to test native versus introduced materials.

RESULTS

General

Mean daily temperature and mean daily solar radiation during the experimental period were 19°C (figure 1) and 18 MJ, respectively.

Materials did not differ in total blade length per tiller (LLT_p) at the beginning of the measurement period (table 1, page 74). Likewise, materials did not differ in LER_p , LAR_p , phyllochron and N_L but differences among materials were observed in LER_{Ln} , N_G and LLS (table 1, page 74).

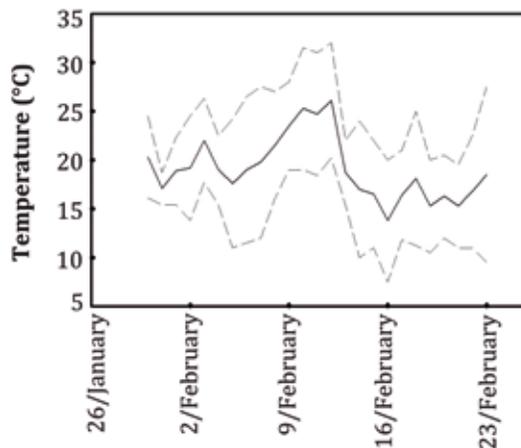


Figure 1. Daily mean (solid line), minimum and maximum air temperatures (dotted line) during the measurement period.

Figura 1. Temperaturas del aire: media diaria (línea continua), mínima y máxima (línea punteada) registradas durante el período de mediciones.

Table 1. Means of total blade length per tiller at the beginning of the measurement period (LLT_r), leaf elongation rate per tiller (LER_r), leaf elongation rate per leaf category (LER_{nr} , where $n = 1, 2$ and 3 indicates the last, penultimate and antepenultimate appearing leaf respectively), maximal leaf elongation rate of individual leaves (LER_{max}), blade length (BL), number of green leaves per tiller (N_r), number of growing leaves (N_g), phyllochron (PHY) and leaf lifespan (LLS) for the C4 materials evaluated.

Table 1. Valores medios de largo de lámina total por macollo al inicio del período de mediciones (LLT_r), tasa de elongación foliar por macollo (LER_r), tasa de elongación foliar por categoría de hoja (LER_{nr} , donde $n = 1, 2$ y 3 denota la última, penúltima y antepenúltima hoja aparecida, respectivamente), máxima tasa de elongación foliar de hojas individuales (LER_{max}), longitud de lámina (BL), número de hojas verdes por macollo (N_r), número de hojas en crecimiento (N_g), filocrono (PHY) y vida media foliar (LLS) para los materiales C4 evaluados.

Material	LLT_r (mm per tiller)	LER_r (mm d ⁻¹)	LER_{n1} (mm d ⁻¹)	LER_{n2} (mm d ⁻¹)	LER_{n3} (mm d ⁻¹)	LER_{max} (mm d ⁻¹)	BL (mm)	N_r	N_g	PHY (GDD [†])	LLS (GDD [‡])
<i>C. ciliaris</i> cv. 'Bella'	176 ^a	13.8 ^a	6.5 ^a	5.9 ^a	1.4 ^a	6.6 ^b	105 ^b	3.1 ^a	2.0 ^a	38 ^a	306 ^{de}
<i>C. ciliaris</i> cv. 'Texas-4464'	270 ^a	13.2 ^a	6.4 ^a	5.3 ^a	1.5 ^a	6.9 ^b	91 ^b	3.6 ^a	2.1 ^a	40 ^a	297 ^d
<i>T. crinita</i>	286 ^a	15.1 ^a	8.3 ^a	6.3 ^a	0.5 ^a	8.7 ^b	103 ^b	3.3 ^a	2.0 ^a	30 ^a	324 ^{bcd}
<i>P. maximum</i>	210 ^a	17.9 ^a	14.0 ^a	3.9 ^a	0.0 ^a	14.6 ^a	205 ^a	2.4 ^a	1.4 ^b	56 ^a	370 ^{ab}
<i>P. coloratum</i>	232 ^a	12.9 ^a	9.2 ^a	3.7 ^a	0.0 ^a	10.1 ^b	112 ^b	2.9 ^a	1.6 ^b	57 ^a	344 ^{abc}
<i>P. caespitosum</i>	200 ^a	12.8 ^a	9.2 ^a	3.6 ^a	0.0 ^a	9.7 ^b	141 ^b	2.7 ^a	1.5 ^b	48 ^a	387 ^a

[†] Growing degree-days calculated using the base temperature obtained for each material by regression between the leaf appearance rate (LAR_r) and mean air temperature (see Table 2 for more details).

* Growing degree-days calculated using a base temperature of 0°C.

† Different letters indicate differences between materials at $P < 0.05$.
 ‡ Grados día de crecimiento calculados utilizando la temperatura base obtenida para cada material por regresión entre la tasa de aparición foliar (LAR_r) y la temperatura media del aire (ver Tabla 2 para más detalles).

* Grados días de crecimiento calculados utilizando una temperatura base de 0°C.

Letras diferentes denotan diferencias entre materiales a $P < 0.05$.

Interestingly, the materials achieved a similar LER_T combining different elongation rates of their individual leaves (LER_{L_i} , table 1, page 74). For example, while in *P. maximum* LER_{L_1} and LER_{L_2} contributed 78% and 22% to LER_T , respectively, in *T. crinita* the LER_{L_1} , LER_{L_2} , and LER_{L_3} explained 54%, 40% and 6% of LER_T (table 1, page 74).

Such differences imply that materials differed in both, the capacity of individual leaf growth and the mechanisms to achieve a similar LER_T . As it was expected, the materials showed differences in LER_{max} (table 1, page 74) and, consequently, in leaf blade length (table 1, page 74).

Changes in LER_T may be explained by changes in the number of leaves elongating at a given time (N_G) and/or the rate at which each individual leaf elongates (*i. e.* the LER_{max}).

The materials evaluated achieved similar LER_T values by different mechanisms and that can be illustrated by a strong negative correlation between N_G and LER_{max} (figure 2a, page 76). Roughly, two contrasting groups can be visualized. A 'low- N_G ' group integrated by *P. coloratum*, *P. maximum* and *P. caespitosum* and a 'high- N_G ' group integrated by *C. ciliaris* cv. 'Bella', *C. ciliaris* cv. 'Texas-4464' and *T. crinita* (figure 2a, page 76).

The evaluated materials showed a similar leaf growth-response to temperature. First, the slope of the relationship between leaf growth variables (LER_T , LER_{max} and LAR_T) and mean air temperature was similar among materials (table 2, page 77). Second, T_b for LER_T , LER_{max} and LAR_T was also similar among materials (table 2, page 77).

Contrasts

The leaf growth capacity (LER_T , LER_{max} , LAR_T) of *C. ciliaris* cv. 'Bella' and *P. caespitosum* did not differ from

that of the rest of the materials evaluated (table 3, page 79; contrast 1 and 2).

Moreover, no difference was observed for these contrasts when T_b and the temperature-responses (*i. e.* slopes of relationships between leaf growth and mean air temperature) for such variables were analyzed (data not shown). Native species showed similar leaf growth capacity (*i. e.* LER_T , LER_{max} , LAR_T) and similar tissue turnover (*i. e.* LLS) than the introduced species (table 3, page 79; contrast 3).

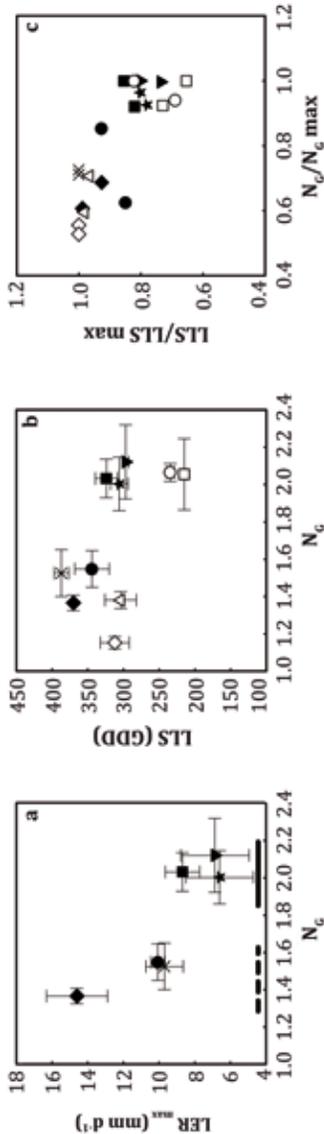
DISCUSSION

Leaf growth at moderately low temperatures

This article shows that, given adequate growing conditions (*i. e.* non-limiting water and nutrients availability) the materials evaluated did not differ in the activity of shoot apical meristem (quantified by phyllochron; 35) and also, did not differ in the leaf elongation rate per tiller (LER_T).

Therefore, the previously reported superior canopy spring growth of *C. ciliaris* cv. 'Bella' (13) and *P. caespitosum* (28) can not be attributed to a higher capacity of leaf tissue production at tiller level, at relatively low temperatures for C4 species to grow (~ 14-20°C).

The absence of differences could be explained by the occurrence of several days (~ 36% of days) with a mean daily temperature ranging around values (~ 14-17°C; figure 1, page 73) closed to the base temperature for leaf growth determined for the materials evaluated (~ 15°C; table 2, page 77). In fact, differences between genotypes in the capacity to grow at moderately low temperature usually diminish as temperature approaches the temperature base (3, 22).



In (a), horizontal lines denote the species integrating the 'high- N_c ' (solid line) and the 'low- N_c ' (dashed line) groups. In (a) and (b) each symbol is the mean of two replicates and the bars are the standard error of each mean. In (c) each symbol is a replicate and each replicate is a mean of 7–8 tillers for materials evaluated at present research (black symbols) and 18–20 tillers for materials evaluated in Berone 2005 (white symbols). *Pappophorum caespitosum* (black cross), *Panicum maximum* (black diamond), *Panicum coloratum* (black circle), *Cenchrus ciliaris* cv. 'Bella' (black star), *C. ciliaris* cv. 'Texas-4464' (black triangle), *Trichloris crinita* (black square), *Bromus stamineus* cv. 'Experimental' (white circle), *B. stamineus* cv. 'Zamba' (white square), *Lolium perenne* cv. 'Experimental' (white diamond), *L. perenne* cv. 'Horizon' (white triangle).

En (a), las líneas horizontales denotan las especies que integran el grupo 'alto- N_c ' (línea continua) y el grupo 'bajo- N_c ' (línea discontinua). En (a) y (b) cada símbolo es el valor medio de dos repeticiones y las barras son el error estándar de cada valor medio. En (c) cada símbolo es una repetición y cada réplica es el valor medio de 7–8 macollos para los materiales evaluados en el presente trabajo (símbolos negros) y de 18–20 macollos en los materiales evaluados en Berone 2005 (símbolos blancos). *Pappophorum caespitosum* (cruces negras), *Panicum maximum* (diamantes negros), *Panicum coloratum* (círculos negros), *Cenchrus ciliaris* cv. 'Bella' (estrellas negras), *C. ciliaris* cv. 'Texas-4464' (triángulos negros), *Trichloris crinita* (cuadrados negros), *Bromus stamineus* cv. 'Experimental' (círculos blancos), *B. stamineus* cv. 'Zamba' (cuadrados blancos), *Lolium perenne* cv. 'Experimental' (diamantes blancos), *L. perenne* cv. 'Horizon' (triángulos blancos).

Figure 2. (a) Relationship between the maximal leaf elongation rate of individual leaves (LER_{max}), and the number of growing leaves (N_c) for materials evaluated at present research. Correlation analysis: $r = -0.86$; $p < 0.05$. **(b)** Relationship between absolute values of N_c and leaf lifespan (LLS) for materials evaluated at present research (black symbols) and in Berone 2005 (white symbols). Correlation analysis for data of present research: $r = -0.90$, $p < 0.05$. Correlation analysis for data of Berone 2005: $r = -0.98$; $p < 0.05$. **(c)** Relationship between the relative maximum N_c and the relative maximum LLS for materials evaluated at present research (black symbols) and in Berone 2005 (white symbols). Correlation analysis: $r = -0.91$; $p < 0.01$.

Figura 2. (a) Relación entre la máxima tasa de elongación foliar de hojas individuales (LER_{max}), y el número de hojas en crecimiento. Análisis de correlación: $r = -0.86$; $p < 0.05$. (N_c) para los materiales evaluados en el presente trabajo. **(b)** Relación entre los valores absolutos de N_c y de vida media foliar (LLS) para los materiales evaluados en el presente trabajo (símbolos negros) y en Berone 2005 (símbolos blancos). Análisis de correlación para los datos del presente trabajo: $r = -0.90$, $p < 0.05$. Análisis de correlación para los datos de Berone 2005: $r = -0.98$; $p < 0.05$. **(c)** Relación entre el máximo valor relativo de N_c y el máximo valor relativo de LLS para los materiales evaluados en el presente trabajo (símbolos negros) y en Berone 2005 (símbolos blancos). Análisis de correlación: $r = -0.91$; $p < 0.01$.

Table 2. Parameters (slope and intercept) of the equations relating leaf elongation rate per tiller (LER_t-temp), maximal leaf elongation rate of individual leaves (LER_{max}-temp) and leaf appearance rate (LAR_t-temp) with mean air temperature, and the corresponding base temperature (T_b, °C) for the C4 materials evaluated.

Tabla 2. Parámetros (pendiente e intercepta) de las ecuaciones que relacionan la tasa de elongación foliar por macollo (LER_t-temp), la máxima tasa de elongación foliar de hojas individuales (LER_{max}-temp) y la tasa de aparición foliar (LAR_t-temp) con la temperatura media del aire y, la correspondiente temperatura base (T_b, °C) para los materiales C4 evaluados.

	LER _t -temp			LER _{max} -temp			LAR _t -temp					
	T _b	slope	intercept	R ²	T _b	slope	intercept	r ²	T _b	slope	intercept	r ²
<i>C. ciliaris</i> cv. 'Bella'	14.9	4.2	-62.6	0.55	14.5	2.1	-30.5	0.60	14.4	0.0328	-0.4798	0.80
<i>C. ciliaris</i> cv. 'Texas-4464'	15.9	5.5	-87.4	0.52	15.2	2.4	-36.9	0.47	14.8	0.0329	-0.4794	0.56
<i>T. crinita</i>	15.4	5.2	-80.5	0.84	15.2	2.9	-43.8	0.88	15.2	0.0427	-0.6482	0.73
<i>Panicum maximum</i>	15.4	6.3	-97.1	0.70	15.4	5.0	-76.0	0.68	15.1	0.0227	-0.3457	0.53
<i>Panicum coloratum</i>	14.2	3.2	-46.2	0.52	13.9	2.3	-32.3	0.58	13.0	0.0215	-0.2820	0.60
<i>Pappophorum Caespitosum</i>	14.8	3.8	-55.8	0.62	14.3	2.4	-34.6	0.70	15.9	0.0279	-0.4422	0.66

[†] T_b was estimated as the value of the independent variable when the dependent variable equals zero.

Regressions were obtained using replication data. All equations were statistically significant (P < 0.05). Slopes and intercepts did not differ (P > 0.05) between materials evaluated.

[†] T_b fue estimada como el valor de la variable independiente cuando la variable dependiente es igual a cero (i.e. valor de y cuando x = 0).

Las regresiones fueron obtenidas utilizando los datos de cada repetición. Todas las ecuaciones fueron estadísticamente significativas (P < 0.05). Las pendientes e interceptas no difirieron (P > 0.05) entre los materiales evaluados.

Interestingly, the present study demonstrates contrasting mechanisms for genotypes to achieve a similar leaf growth per tiller (LER_T). *Panicum coloratum*, *P.* and *P. caespitosum* showed a lower number of active meristems (*i. e.* number of visible growing leaves, N_C) but a higher activity of individual intercalary meristems (*i. e.* maximal leaf elongation rate of individual leaves, LER_{max}) than *C. ciliaris*, and *T. crinita*. As it was expected (31), these findings imply that genotypic differences observed at one organization level (*i. e.* leaf growth) will not necessarily translate to a higher organization level (*i. e.* tiller growth).

The growth of a grass sward can be explained by the growing capacity of individuals (*i. e.* LER per tiller) and the number of individuals growing at the same time (*i. e.* tiller density). Therefore, potential differences between materials in tiller density and canopy growth can not be discarded. It is generally accepted that each appeared leaf has the potential to form a tiller (23) and then, differences among materials in LAR_T could lead to differences in tiller density (17).

However, the materials evaluated here did not differ in the LAR_T . In other words, under the prevailing conditions of the present study, the materials showed the same capacity to generate sites for tiller appearance and consequently the same capacity to generate canopies with a similar 'potential' tiller density.

Since the referred works with *P. caespitosum* and *C. ciliaris* cv. 'Bella' (13, 28) were performed under natural conditions (*i. e.* without addition of nutrients and water) their superior spring growth should be explained by other factors than the intrinsic temperature response of LER_T and LAR_T . Additional research focusing on other traits than

LER_T and LAR_T , carried out under different levels of water and nutrients availability, seem to be necessary to better understand the behaviour of different C4 materials and to allow selecting those with a superior growth capacity at the beginning and at the end of the growing season.

Leaf turnover at moderately low temperatures

Under the environmental conditions of present research (*i. e.* moderately low temperatures and adequately water and nutrients supply) differences in leaf lifespan between materials were observed. Therefore, a specific defoliation interval (*i. e.* material dependent) is needed to optimize the balance between the production and the utilization of herbage (18). For sites/periods with a mean daily temperature similar of present research ($\sim 19^\circ\text{C}$) the interval between defoliations will range between 15 days for the material with the higher leaf turnover (*e. g.* leaf lifespan of *C. ciliaris* cv. 'Texas 464' = 297 GDD; $297 \text{ GDD}/19^\circ\text{C} = 15 \text{ days}$) and 20 days for the material with the lower leaf turnover (*e. g.* leaf lifespan of *P. caespitosum* = 387 GDD; $387 \text{ GDD}/19^\circ\text{C} = 20 \text{ days}$). Assuming that, at higher temperatures, differences in leaf lifespan are sustained, the intervals between defoliations become similar between these materials. As an example, at 27°C the optimal interval between defoliations will range between 11 and 14 days for *C. ciliaris* cv. 'Texas 464' and *P. caespitosum*, respectively.

Differences in leaf biomass turnover rate can lead to different nutrient cycling rates in the ecosystem (7, 35). Therefore, variation in leaf life-span has long been considered of ecological significance (31). Despite this, a quantitative evaluation of the relationships between leaf life-span

and other plant characteristics has been rare. Interestingly, the materials showing a significantly higher number of active intercalary meristems (N_G) showed a lower leaf lifespan (figure 2b, page 76). A similar trade-off between N_G and leaf lifespan was observed in a C3 grasses comparison (2, 4), where the species with higher leaf lifespan (*Lolium perenne*) showed a lower N_G than the species showing lower leaf lifespan (*Bromus stamineus*) (figure 2b, page 76). The quite similar relationship (LLS vs. N_G) observed in species belonging to contrasting functional groups (*i. e.* C3 of a previous report and C4 grasses of present research) can be better appreciated when

both variables were expressed in relative terms (figure 2c, page 76).

Such inverse correlation between the N_G and leaf lifespan could be due to the higher nitrogen/phosphorus demand for cell production and expansion (1, 15, 16, 20, 38) of tillers with a higher number of leaves growing simultaneously.

It's also important to note that, under environmental conditions of present research the native materials from the Argentinean arid Chaco showed a similar leaf turnover than that of the non native materials (table 3, contrast 3).

Table 3. Means of leaf elongation rate per tiller (LER_T), maximal leaf elongation rate of individual leaves (LER_{max}), blade length (BL), number of growing leaves (N_G), number of green leaves per tiller (N_L), phyllochron and leaf lifespan in the contrasts evaluated.

Tabla 3. Valores medios de tasa de elongación foliar por macollo (LER_T), máxima tasa de elongación foliar de hojas individuales (LER_{max}), longitud de lámina (BL), número de hojas en crecimiento (N_G), número de hojas verde por macollo (N_L), filocrono y vida media foliar en los contrastes evaluados.

	Contrast 1		Contrast 2		Contrast 3	
	1 [†]	vs. 2,3,4,5	6	vs. 2,3,4,5	3,6	vs. 1,2,4,5
LER_T (mm day ⁻¹)	14 ^a	15 ^a	13 ^a	15 ^a	14 ^a	14 ^a
LER_{max} (mm day ⁻¹)	8 ^a	10 ^a	9 ^a	10 ^a	9 ^a	10 ^a
BL (mm)	105 ^a	128 ^a	141 ^a	128 ^a	122 ^a	128 ^a
N_G	2.0 ^a	1.8 ^a	1.5 ^a	1.8 ^a	1.8 ^a	1.8 ^a
N_L	3.1 ^a	3.1 ^a	2.7 ^a	3.1 ^a	3.0 ^a	3.0 ^a
Phyllochron GDD [‡])	38 ^a	57 ^a	66 ^a	57 ^a	39 ^a	59 ^a
Leaf lifespan GDD [§])	306 ^a	334 ^a	387 ^a	334 ^b	356 ^a	329 ^a

[†] 1= *C. ciliaris* cv. 'Bella', 2= *C. ciliaris* cv. 'Texas-4464', 3= *T. Crinita*, 4= *Panicum maximum*, 5= *Panicum coloratum*, 6= *Pappophorum caespitosum*.

[‡] Growing degree-days calculated using a base temperature obtained for each material by linear regression between the leaf appearance rate (LAR_T) and mean air temperature (see table 2, page 77; for more details)

[§] Growing degree-days calculated using a base temperature of 0°C.

Different letters indicate differences between groups, within each contrast, at P < 0.05.

[‡] Grados día de crecimiento calculados utilizando la temperatura base obtenida para cada material por regresión entre la tasa de aparición foliar (LAR_T) y la temperatura media del aire (ver tabla 2, pág. 77; para más detalles)

[§] Grados días de crecimiento calculados utilizando una temperatura base de 0°C.

Letras diferentes denotan diferencias entre grupos, dentro de cada contraste, a P < 0,05.

This suggests that the replacement of native materials by non-native materials evaluated at present research will not derive in changes in nutrient cycling rates in the ecosystem (7, 35). However, this remains to be tested at an appropriate spatiotemporal scale.

CONCLUSIONS

The results of this study indicate that, at moderate low temperatures, the C4 evaluated materials had a similar tiller

growth capacity and similar leaf lifespan. Interestingly they could be grouped according to their contrasting strategies to achieve a similar tiller growth; while *P. coloratum*, *P. maximum* and *P. caespitosum* showed a higher activity of individual intercalary meristems *C. ciliaris* and *T. crinita* showed a higher number of intercalary active meristems. In addition, and in coincidence with previous findings reported for C3 grasses, materials with a higher number of visible growing leaves showed a lower leaf lifespan.

REFERENCES

1. Assuero, S. G.; Mollier, A.; Pellerin S. 2004. The decrease in growth of phosphorus-deficient maize leaves is related to a lower cell production. *Plant Cell and Environment*. 27: 887-895.
2. Berone, G. D. 2005. Morphogenetical characterization of two *Lolium perenne* and *Bromus stamineus* cultivars. Thesis Magister Scientiae. Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina. 79 p.
3. Berone, G. D.; Lattanzi, F. A.; Colabelli, M. R.; Agnusdei, M. G. 2007. A comparative analysis of the temperature-response of leaf elongation in *Bromus stamineus* and *Lolium perenne* plants in the field: intrinsic and size-mediated effects. *Annals of Botany*. 100: 813-820.
4. Berone, G. D.; Lattanzi, F. A.; Agnusdei, M. G.; Bertolotti, N. 2008. Growth of individual tillers and tillering rate of *Lolium perenne* and *Bromus stamineus* subjected to two defoliation frequencies in winter in Argentina. *Grass and Forage Science*. 63: 504-512.
5. Berone, G. D.; Bertolotti, N. 2009. Análisis del crecimiento anual y estacional de *Lolium perenne* y *Bromus stamineus* [Annual and seasonal growth analysis of *Lolium perenne* and *Bromus stamineus*]. *Revista Argentina de Producción Animal*. 29: 559-560.
6. Briske, D. D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. In: Heitschmidt, R. K.; Stuth, J. W. (Eds.). *Grazing management - An ecological perspective*, Timber Press, Portland, Oregon, USA. 85-108.
7. Cornelissen, J. H. C.; Thompson, K. 1997. Functional leaf attributes predict litter decomposition rate in herbaceous plants. *New Phytologist*. 135: 109-114.
8. Cullen, B. R.; Chapman, D. F.; Quigley, P. E. 2006. Comparative defoliation tolerance of temperate perennial grasses. *Grass and Forage Science*. 61: 405-412.
9. Davies, A. 1993. Tissue turnover in the sward. In: Davies, A.; Baker, R. D.; Grant, S. A.; Laidlaw, A. S. (Eds.) *Sward Measurement Handbook*, 2nd edition The British Grassland Society, Reading, UK. 183-216.
10. Durand, J. L.; Schäufele, R.; Gastal, F. 1999. Grass leaf elongation rate as a function of developmental stage and temperature: morphological analysis and modelling. *Annals of Botany*. 83: 577-588.
11. Entio, L. J.; Mujica, M. de la M.; Busso, C. A.; Torres, Y. A.; Montenegro, O. A.; Ithurrart, L. S.; Giorgetti, H. D.; Rodríguez, J. D.; Bentivegna, D.; Bredan, R. E.; Fernández, O. A.; Baioni, S. S.; Fioretti, M. N.; Tucac, G. 2014. Variabilidad y correlaciones de caracteres vinculados con el vigor de plántula en dos poblaciones naturales de *Pappophorum vaginatum* Buckley. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(2): 223-230.

12. Fulkerson, W. J.; Slack, K. 1994. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: 1. Effect of water-soluble carbohydrates and senescence. *Grass and Forage Science*. 49: 373-377.
13. Hacker, J. B.; Waite, R. B. 2001. Selecting buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) with improved spring yield in subtropical Australia. *Tropical Grasslands*. 35: 205-210.
14. Hoveland, C. S.; Foutch, H. W.; Buchanan, G. A. 1974. Response of Phalaris genotypes and other cool-season grasses to temperature. *Agronomy Journal*. 66: 686-690.
15. Kavanová, M., Lattanzi, F. A.; Grimoldi, A. A.; Schnyder, H. 2006. Phosphorus deficiency decreases cell division and elongation in grass leaves. *Plant Physiology*. 141: 766-775.
16. Kavanová, M.; Lattanzi, F. A.; Schnyder, H. 2008. Nitrogen deficiency inhibits leaf blade growth in *Lolium perenne* by increasing cell cycle duration and decreasing mitotic and post-mitotic growth rates. *Plant Cell and Environment*. 31: 727-737.
17. Lemaire, G.; Chapman, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J.; Illus, A.W. (Eds.) *The Ecology and Management of Grazing Systems*, Wallingford, UK: CAB International. 3-36.
18. Lemaire, G.; Da Silva, S. C.; Agnusdei, M.; Wade, M.; Hodgson, J. 2009. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass and Forage Science*. 64: 341-353.
19. Littell, R. C.; Stroup, W. W.; Freund, R. J. 2002. *SAS for Linear Models*, Fourth Edition, SAS Institute Inc., Cary, NC. 1-466.
20. Mac Adam, J. W.; Volenec, J. J.; Nelson, C. J. 1989. Effects of nitrogen on mesophyll cell division and epidermal cell elongation in tall fescue leaf blades. *Plant Physiology*. 89: 549-546.
21. Manuel-Navarrete, D.; Gallopin, G. C.; Blanco, M.; Diaz-Zorita, M.; Ferraro, D.; Herzer, H.; Laterra, P.; Murmis, M. R.; Podesta, G.; Rabinovich, J. 2009. Multi-causal and integrated assessment of sustainability: the case of agriculturization in the Argentine Pampas. *Environment, Development and Sustainability*. 11: 621-638.
22. Medek, D. E.; Ball M. C.; Schortemeyer, M. 2007. Relative contributions of leaf area ratio and net assimilation rate to change in growth rate depend on growth temperature: comparative analysis of subantarctic and alpine grasses. *New Phytologist*. 175: 290-300.
23. Nelson, C. J. 2000. Shoot morphological plasticity of grasses: leaf growth vs. tillering. In: Lemaire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Nabinger, C.; de F. Carvalho, P. C. (Eds.). *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*, CAB International, Wallingford, UK. 101-126.
24. Nie, Z. N.; Zollinger, R. P.; Jacobs, J. L. 2009. Performance of 7 Australian native grasses from the temperate zone under a range of cutting and fertilizer regimes. *Crop and Pasture Science*. 60: 943-953.
25. Parsons, A. J.; Johnson, I. R.; Harvey, A. 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science*. 43: 49-59.
26. Parsons, A. J.; Edwards G. R.; Newton, P. C. D.; Chapman, D. F.; Caradus, J. R.; Rasmussen, S.; Rowarth, J. S. 2011. Past lessons and future prospects: plant breeding for yield and persistence in cool-temperate pastures. *Grass and Forage Science*. 66: 153-172.
27. Poorter, H.; Nagel, O. 2000. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Australian Journal of Plant Physiology*. 27: 595-607.
28. Quiroga, R. E.; Avila, R. E.; Ferrando, C. A.; Blanco, L. J. 2007. Dinámica de la disponibilidad de biomasa aérea en pasturas de cinco megatérmicas [Dynamic of aerial biomass availability in pastures of five tropical grasses]. *Revista Argentina de Producción Animal*. 27: 193-194.
29. Reader, R. J.; Wilson, S. D.; Belcher, J. W.; Wisheu, I.; Keddy, P. A.; Tilman, D.; Morris, E. C.; Grace, J. B.; McGraw, J. B.; Olf, H.; Turkington, R.; Klein, E.; Leung, Y.; Shipley, B.; Van Hulst, R.; Johansson, M. E.; Nilsson, C.; Gurevitch, J.; Grigulis, K.; Beisner, B. E. 1994. Plant competition in relation to neighbor biomass: an intercontinental study with *Poa pratensis*. *Ecology*. 75: 1753-1760.

30. Rearte, D. 2007. Distribución territorial de la ganadería vacuna [Territorial distribution of beef cattle], INTA, Argentina. 1-12. Disponible en: <http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/balcarce/Carnes/DistribTerritGanadVacuna.pdf> [cited 12 March 2014].
31. Reich; P. B.; Walters, M. B.; Ellsworth, D. S. 1997. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 94: 13730-13734.
32. Sadras, V.; Calderini, D.; Connor, D. 2009. Sustainable agriculture and crop physiology. In: Sadras, V.; Calderini, D. (Eds.) *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*, Elsevier, Oxford, UK. 1-20.
33. Sage, R. F. 2004. The evolution of C4 photosynthesis. *New Phytologist*. 161: 341-370.
34. Schnyder, H.; Seo, S.; Rademacher, I. F.; Kühbauch, W. 1990. Spatial distribution of growth rates and of epidermal cell lengths in the elongation zone during leaf development in *Lolium perenne* L. *Planta*. 181: 423-431.
35. Son, Y.; Gower, S.T. 1991. Aboveground nitrogen and phosphorus use by five plantation-grown trees with different leaf longevities. *Biogeochemistry*. 14: 167-191.
36. Sugiyama, S.; Gotoh, M. 2010. How meristem plasticity in response to soil nutrients and light affects plant growth in four *Festuca* grass species. *New Phytologist*. 185: 747-758.
37. Volenec, J. J.; Nelson, C. J. 1981. Cell dynamics in leaf meristems of contrasting tall fescue genotypes. *Crop Science*. 21: 381-385.
38. Volenec, J. J.; Nelson, C. J. 1983. Responses of tall fescue leaf meristems to N fertilization and harvest frequency. *Crop Science*. 23: 720-724.
39. Warton, D. I.; Wright, I. J.; Falster, D. S.; Westoby, M. 2006. Bivariate line-fitting methods for allometry. *Biological Reviews*. 81: 259-291.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank Carlos Ferrando (INTA La Rioja) and Lisandro Blanco (INTA La Rioja) for providing the seed, Nicolás Bertolotti and Jorge Navarro for their valuable help and assistance with data collection and Silvia Assuero (INTA Balcarce), Pedro Errecart (INTA Balcarce) and Marcelo Pisani (INTA Rafaela) for the critical review of the manuscript and valuable suggestions. The study was supported by INTA.

Evaluación de un panel para recuperación de deriva en aplicaciones fitosanitarias en viñedos

Evaluation of a drift recovery panel for phytosanitary treatments in vineyards

Alejandro Omar Ambrogetti ¹, Ernesto Martín Uliarte ¹, Marcos Adrian Montoya ^{1,2}, Walter Haist ³, Raúl Feliciano del Monte ¹

Originales: *Recepción:* 16/03/2016- *Aceptación:* 06/06/2016

RESUMEN

Se construyó un panel con deshumidificadores acoplable a máquinas atomizadoras convencionales, capaz de retener el líquido de pulverización que se pierde por deriva. Los objetivos del trabajo fueron: a) verificar su capacidad de recuperación, b) estudiar su influencia en las características del pulverizado y c) comprobar la variación de la deriva en el suelo y las hileras aledañas. El prototipo se ensayó en un viñedo cv. Malbec conducido en espaldera alta. La aplicación de oxiclورو de cobre con equipo hidroneumático convencional se definió como tratamiento testigo. Se evaluó la calidad de la pulverización usando papeles hidrosensibles y receptores ubicados en la hilera tratada, dos hileras adyacentes y el suelo. En ensayos a campo, el panel recuperó el 37% del volumen aplicado para inicios del desarrollo vegetativo y el 11% con máxima vegetación. El recuperador no influyó en la cantidad de producto depositado, ni en la calidad de distribución del pulverizado sobre la canopia tratada. En el tratamiento convencional se comprobó que gran parte de la deriva se pierde principalmente en el suelo aledaño a las hileras pulverizadas. El panel redujo significativamente la deriva en el suelo, tanto en depósito de pesticida como en cantidad de impactos por superficie.

Palabras clave

vid • espaldera • tratamientos fitosanitarios • pérdidas • prototipo para recuperación

-
- 1 Ingeniería de Cultivo, EEA Mendoza, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), San Martín 3853, (5507) Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. ambrogetti.alejandro@inta.gob.ar
 - 2 Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Cuyo. Almirante Brown 500- Luján. C. P. M5528AHB. Mendoza. Argentina.
 - 3 Laboratorio de Recursos Naturales, EEA Mendoza INTA, Mendoza, Argentina.

ABSTRACT

A panel with dehumidifiers attachable to conventional sprayers was designed, capable of retaining the spray liquid that is lost by drift. The objectives of this study were: a) verify the recovery capacity of the panel, b) to study their influence on the characteristics of spraying, c) check the drift modification in soil and the surrounding rows. The prototype was tested in a vertical shoot positioned (VSP) trellised vineyard cv. Malbec. The application of copper oxychloride with conventional hydropneumatic equipment was defined as a control treatment. Spray quality was assessed using water sensitive papers and receptors on the treated row, in two adjacent rows and soil. In field trials, the panel recovers 37% of the volume applied for early vegetative development and 11% with maximum vegetation. The panel did not influence the amount of product deposited, nor the quality of the spray distribution on the treated canopy. In the conventional treatment it was found that drift is lost mainly in the soil adjacent to the treated rows. The panel significantly reduced drift to the soil, both the deposit of pesticide applied as the quantity of surface impacts.

Keywords

grapevine • VSP trellis system • phytosanitary spraying • losses • recovery prototype

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos fitosanitarios en viñedos conducidos en espaldera se efectúan principalmente con equipos hidroneumáticos, caracterizados por aplicar el pulverizado fitosanitario a presión haciéndolo penetrar en la canopia, con asistencia de una corriente de aire generada por una turbina axial (principio de gota proyectada y transportada) (13).

Los volúmenes de aplicación varían entre 300 y 800 l ha⁻¹, ajustándose al desarrollo vegetativo del cultivo en el momento de la aplicación. Estos equipos presentan como dificultad la imposibilidad de controlar las gotas generadas y la consecuencia es una elevada proporción de pérdidas tanto en el suelo como en el aire, lejos del objetivo (16).

El flujo de pulverización que supera los objetivos a tratar (canopia), se conoce como deriva del pulverizado, determinando pérdidas de pesticida en el medioambiente.

Se considera que los efectos perjudiciales de la deriva son de orden ambiental, económico y toxicológico (18).

Considerando la baja eficiencia de las técnicas comunes de pulverización, los métodos de reducción de la deriva se han convertido en prácticas necesarias (3). No es posible eliminar completamente la deriva, pero esta puede minimizarse utilizando técnicas apropiadas de aplicación. En este sentido se recomienda: optimizar la selección de las boquillas, uso de coadyuvantes, ajuste de la presión de pulverización, optimización de los volúmenes aplicados, regulación de la velocidad del tractor, utilización de pantallas y pulverizar solo con condiciones climáticas adecuadas (7).

Tanto las boquillas antideriva como los coadyuvantes aumentan el tamaño de las gotas reduciendo el riesgo de deriva. Utilizando boquillas con inducción de aire

(baja deriva) en un cultivo de manzanos se comprobó una disminución del 75% respecto de la deriva utilizando boquillas estándares, sin embargo las pérdidas por escurrimiento en el suelo debajo de la vegetación aumentaron en un 50% (4).

Las cantidades de producto que se pierden son considerables: entre 10 y 45% en el suelo y entre 15 y 40% en aire. Las pérdidas en el suelo son mayores en aplicaciones en fase vegetativa temprana y en este caso son difíciles de reducir, incluso mediante la optimización de los ajustes de calibración de los equipos (19).

Reducir la dispersión de plaguicidas significa salvaguardar el ambiente, disminuir los riesgos para el aplicador y garantizar la salud del consumidor (8).

Se han estudiado localmente tecnologías de aplicación para intentar mejorar la eficiencia de los tratamientos y reducir la deriva (6), como también existen antecedentes de la utilización de túneles de pulverización para cultivos en espaldera, capaces de recuperar y reutilizar la deriva (2, 3), pero su elevado costo y baja versatilidad de uso en los cultivos, limitan su difusión. Se afirma que el uso de esta técnica resultaría conveniente si se valorara el ahorro económico relacionado con la reutilización del producto, los aspectos ambientales de producción saludable y la seguridad del operador (2).

En la actualidad se estudian sofisticados sistemas de aplicación variable en viñedos, donde diferentes sensores analizan en tiempo real el volumen de la vegetación, esta información es procesada por un software que determina la cantidad apropiada a pulverizar en cada sitio de la canopia (10). Por el momento estos sistemas se encuentran en fase de experimentación y requieren de equipamiento de alto costo.

En la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza del INTA se diseñó un prototipo experimental en forma de pantalla acoplable a máquinas atomizadoras convencionales, para tratamientos fitosanitarios en vides conducidas en sistemas de espaldera, que permite reducir la deriva recuperando parte del líquido pulverizado.

Hipótesis principal

El equipamiento desarrollado permite captar una gran proporción del líquido pulverizado que se pierde por deriva, sin afectar la calidad de la aplicación.

Hipótesis secundarias

a) La utilización de la pantalla recuperadora aumenta la eficiencia del tratamiento fitosanitario.

b) Reduce significativamente el impacto en el ambiente.

Objetivo general

Evaluar un prototipo experimental de acople directo a equipos pulverizadores convencionales, que permite recuperar y reutilizar el pulverizado perdido por deriva.

Objetivos específicos

a) Verificar la capacidad de recuperación.

b) Estudiar su influencia en las características del pulverizado.

c) Comprobar la disminución de la deriva en el suelo y las hileras aledañas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del prototipo experimental

El prototipo se proyectó teniendo en cuenta las propiedades de los deshumidificadores de aire, diseñando una estructura metálica para su soporte. El ancho del panel se estableció de acuerdo

con ensayos preliminares con distintas pulverizadoras, mientras que la altura se pensó para espalderos de 1,8 m de alto como máximo. El sistema de recolección del líquido recuperado se equipó con una sucesión de filtros necesarios para eliminar los restos vegetales que se desprenden durante la pulverización. La estructura de accionamiento del panel se dotó de movimientos para su regulación a distintos anchos de cultivos, siendo del tipo mecánico con corredera. Los movimientos en altura se proyectaron hidráulicos, para ser accionados por el tractorista durante la operación del equipo.

Se construyó un panel para la recuperación de la deriva con características de diseño que permitieran montarlo en distintos modelos de equipos hidroneumáticos existentes en el medio. La recuperación del pulverizado perdido por deriva se consigue a través de deshumidificadores de aire, capaces de retener el líquido de pulverización contenido en la corriente de aire.

Descripción del panel de recuperación

El prototipo consta de 52 deshumidificadores (modelo DH 2100, marca Munters, Alemania), separados

entre sí a una distancia de 25 mm y dispuestos en forma vertical sobre una estructura metálica que sirve de sostén. Las dimensiones y los principales datos técnicos se presentan en la tabla 1.

En la parte inferior cuenta con un filtro de malla (2 x 2 mm) y un colector del líquido de pulverización recuperado. Una bomba lo aspira a través de un filtro y lo envía a un depósito con una capacidad de 20 l, que se encuentra montado en el lateral de la estructura del panel antideriva, para cuantificar el volumen recuperado en los ensayos.

Eficiencia de recuperación en vacío

La eficiencia de recuperación en vacío (RV) se determinó pulverizando agua con caudales previamente calibrados (5,5 l min⁻¹), con cuatro boquillas de pulverización habilitadas durante un minuto y repitiéndose 50 veces, sin tránsito en el cultivo y aislado de la acción del viento, con el panel ubicado a 0,20 m de distancia de los picos y calculándose como:

$$RV (\%) = \frac{\text{Volumen recolectado}}{\text{Volumen erogado}} * 100$$

Tabla 1. Dimensiones y principales datos técnicos del panel de recuperación.

Table 1. Dimensions and main technical data of the recovery panel.

Ancho operativo	1,30 m
Alto operativo	1,77 m
Ancho máximo	1,35 m
Alto máximo	1,90 m
Espesor	350 mm
Bomba: accionamiento/caudal	12 V / 12 l min ⁻¹
Peso del panel	85 kg
Regulación de altura de trabajo	Accionamiento hidráulico
Distanciamiento a la hilera del cultivo	Regulación de accionamiento manual

Eficiencia de recuperación a campo

El recuperador de deriva se montó en el costado derecho de una pulverizadora hidroneumática (marca Malanca, modelo 1500 l), el panel quedó soportado de la parte superior permitiendo desplazarse por el interfilas paralelo al que circula el tractor y enfrentado a las boquillas del arco de pulverización derecho, con el objetivo de recuperar el pulverizado excedente que atraviesa la canopia de la hilera tratada (figura 1).

La eficiencia de recuperación se estableció por unidad de superficie tratada, controlando el gasto generado en el tanque de la pulverizadora, para asperjar parcelas con una longitud de hilera de 7,5 m por unidad experimental con cuatro repeticiones, dispuestas en un diseño experimental de bloques completos al azar, definidos por el sentido de riego en la hilera (diferencias de vigor en las plantas).

Luego se midió el líquido acumulado en el depósito auxiliar del panel recuperador

de deriva y la recuperación a campo (RC) se calculó como:

$$RC (\%) = \frac{\text{Volumen recolectado}}{\text{Volumen erogado}} * 100$$

Para evaluar la eficiencia del panel de recuperación y su influencia en la calidad de distribución de pulverización se estableció un ensayo en un viñedo cv. Malbec de 11 años, ubicado en Luján de Cuyo, conducido en espaldera alta de 1,8 m de altura, con un distanciamiento de 2,5 m entre hileras y 1,5 m entre plantas.

Las dimensiones de la canopia en máximo desarrollo fueron de 0,45 m de ancho y 1,20 m de alto. El viñedo poseía tela antigranizo, la cual se mantuvo elevada y plegada durante las experiencias realizadas.

De manera análoga a la medición de la eficiencia de recuperación, el diseño del ensayo fue de bloques completos aleatorizados con dos tratamientos y cuatro repeticiones.

La aplicación de oxiclورو de cobre (fungicida, marca Caurifix 84% WG) con un equipo atomizador convencional sin recuperación de deriva se definió como tratamiento testigo (TT) y se contrastó con una aplicación de idénticas características, anexando el panel de recuperación a la pulverizadora (TR). Se dispuso de siete hileras de viña de 120 m de largo, y se definieron cuatro franjas de 7,5 m de longitud y 7,5 m de ancho, separadas entre sí 15 m longitudinalmente. Cada franja de 7,5 m se consideró como una parcela y se determinó una zona de control de 3 m, correspondiendo al centro de la parcela.

El día 28 de octubre de 2011 se efectuó una determinación de recuperación de deriva para un desarrollo vegetativo característico de primavera (entre 20 y 40 cm de largo de brotes), mientras que la experiencia en pleno desarrollo vegetativo



Figura 1. Ubicación del prototipo de panel de recuperación de deriva para viñedos en espaldera.

Figure 1. Prototype of a drift recovery panel placed in a VSP trellised vineyard.

se realizó el 19 de marzo de 2011. Las condiciones ambientales en las fechas de ensayo se presentan en la tabla 2.

Determinación cuantitativa del depósito

Para la determinación cuantitativa del depósito se utilizaron papeles de filtro de 50 mm de diámetro, como receptores de pulverizado, tanto en la canopia como en el suelo, para luego contabilizar la cantidad total del producto depositado.

Los receptores de la canopia se colocaron en la zona de control de la hilera tratada, en tres alturas distintas: inferior, media y superior, y tres profundidades en la vegetación: exterior, central y posterior, en todos los casos en la cara anterior de exposición al pulverizado. En dos hileras laterales a la tratada, en el sentido de la proyección de la pulverización, se midió la deriva con la misma disposición de los receptores empleada para la hilera tratada.

Los valores obtenidos en cada posición se agruparon por sitios de observación en la canopia (hilera tratada, primera hilera contigua y segunda hilera contigua).

La deriva en el suelo se determinó mediante receptores ubicados debajo de la hilera sin tratar y desde allí a intervalos de 0,83 m hasta los 6,66 m de distancia en el sentido de la proyección de la pulverización.

Los valores obtenidos se agruparon diferenciando interfilar de tránsito, primer interfilar contiguo, segundo interfilar contiguo y debajo de las hileras.

Para la determinación de la cantidad de producto depositado se utilizó como trazador el elemento cobre, esta elección se basó en la amplia utilización que tiene en viticultura, tratándose además de un producto estable que no es afectado por la fotodegradación (9).

La concentración para los dos tratamientos fue el equivalente de oxiclورو de cobre a 1 g de cobre metal por litro de agua.

Aplicado el producto y recuperados los receptores de pulverizado se procedió a la extracción del trazador depositado en las muestras. El lavado de los receptores se hizo con NO_3H 0,05 N (9), colocando un receptor en un recipiente de cierre hermético con 25 ml de dicha solución y totalmente sumergido en la misma por un tiempo de cinco minutos.

A continuación se realizó un breve agitado manual durante cinco segundos. Se comprobó que mayor tiempo de agitación dañaba el papel y no producía diferencia en la concentración obtenida.

La solución producto del lavado se envió a laboratorio para la determinación de la cantidad de cobre mediante espectrometría de emisión atómica.

Tabla 2. Condiciones ambientales al momento de efectuar las experimentaciones.

Table 2. Environmental conditions during the experiments.

	Fecha (día/mes/año)	
	28/10/2011	19/03/2011
Hora de inicio	11:00	9:00
Temperatura (°C)	22	20
Humedad relativa (%)	44	45,6
Velocidad de viento (km h ⁻¹)	3,6	1,5
Dirección del viento	Oeste-Este	Este-Oeste

Determinación cualitativa del depósito

Para evaluar la influencia del panel sobre la distribución y calidad del pulverizado se utilizaron receptores de papel hidrosensible (Syngenta, Suiza) de 76mm x 26mm de dimensión, distribuidos de igual forma y cantidad que los receptores de papel de filtro.

Las tarjetas hidrosensibles se digitalizaron con un escáner (Scanjet 4070 C, HP) con una resolución de 400 dpi. Se determinó la cantidad de impactos por unidad de superficie (imp cm⁻²). Para establecer el espectro de distribución del tamaño de gota y el porcentaje de cobertura generado se empleó un programa específico (SPRAY-X. EXE), desarrollado en el Instituto de Ingeniería Rural (CIA INTA).

Condiciones de trabajo del equipo pulverizador

En la tabla 3 se presentan las condiciones de trabajo de la pulverizadora de tiro con capacidad de 1500 litros y un ventilador de 750 mm de diámetro, para las dos fechas de medición.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de la varianza utilizando el programa Infostat versión 1.5 y la comparación de medias mediante el test de Fisher (LSD) utilizando un $\alpha=0,05$.

RESULTADOS

Eficiencia de recuperación en vacío

El panel recuperador obtuvo una eficiencia de recuperación de 5,23 l min⁻¹, representando el 95% del volumen total pulverizado, para las condiciones establecidas de recuperación en vacío.

Eficiencia de recuperación a campo

En tratamientos de inicio de temporada, con follaje entre 20 y 40 cm de longitud de brote, el equipo recuperó 1,88 l min⁻¹ (112,8 l ha⁻¹), alcanzando un porcentaje de recuperación del 37%.

En época de máximo desarrollo vegetativo y para las condiciones fijadas de calibración, el equipo recuperó 1,30 l min⁻¹ (75,3 l ha⁻¹), constituyendo un 11% del volumen aplicado por hectárea.

Considerando una dosis de oxiclورو de cobre de 0,40 kg en 100 l de agua, se recuperarían 0,45 kg ha⁻¹ de producto en primavera y 0,30 kg ha⁻¹ en verano.

Teniendo en cuenta un costo aproximado de 13,7 dólares por kilo de oxiclورو (noviembre de 2015), en primavera representaría un ahorro de 6,2 dólares por hectárea, mientras que en verano se economizarían 4,1 dólares por hectárea por cada pulverización.

Tabla 3. Condiciones de trabajo de la pulverizadora para las dos fechas de medición.

Table 3. Sprayer's working conditions for both measurement dates.

	Fecha (día/mes/año)	
	28/10/2011	19/03/2011
Toma de fuerza	540	540
Presión de trabajo (lb p ²)	250	250
Velocidad de avance (km h ⁻¹)	4,00	3,84
Gasto (l ha ⁻¹)	305	685
Cantidad de pastillas	4 (2 por lado)	8 (4 por lado)
Tipo de pastillas	Albuz ATR 80 Cono hueco (amarilla)	Albuz ATR 80 Cono hueco (amarilla)

Si se consideran dos aplicaciones durante primavera y dos en verano constituiría un ahorro de 20,6 dólares por hectárea por temporada, solo en producto preventivo contra peronóspora.

Por otra parte, la economía de agua promedio entre inicios de la temporada y máximo crecimiento vegetativo sería de 94 l ha⁻¹ para cada tratamiento fitosanitario.

Determinación cuantitativa del depósito

Se presentan los resultados de la experimentación realizada en época de máximo desarrollo de la vegetación (marzo de 2011).

En la hilera tratada, la cantidad de producto depositado en la canopia no se diferenció estadísticamente entre tratamientos, los valores registrados fueron similares en todos los sectores evaluados.

En las dos hileras adyacentes donde se determinó la deriva, el depósito de producto no se diferenció entre los tratamientos, aunque hubo una tendencia a la reducción en el tratamiento TR (figura 2).

En el análisis de los datos correspondientes al producto depositado en el suelo (cobre en mg l⁻¹) se observa una tendencia a menor deriva para el TR, en todos los sitios de observación, diferenciándose estadísticamente en el sitio interfilar aledaño (figura 3, pág. 91), con una disminución del 238%.

Determinación cualitativa del depósito

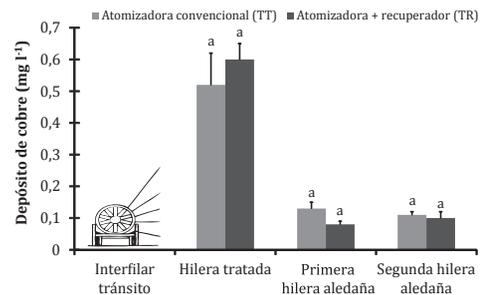
En el follaje de la hilera tratada no se detectó diferencias en cuanto a número de impactos por unidad de superficie, aunque sí una tendencia a disminuir en el tratamiento TR.

En las dos hileras contiguas tampoco hubo diferencias significativas, pero sí una tendencia aún más marcada en la primera hilera adyacente de TR, a reducir la

cantidad de impactos en una proporción muy superior a la observada en la hilera tratada (figura 4, pág. 91).

La observación visual de las tarjetas hidrosensibles de la hilera tratada reveló que, para la mayoría de los casos y en ambos tratamientos, el nivel de cobertura fue el adecuado para lograr una aplicación fitosanitaria efectiva. La cobertura de impactos registrada en las hileras adyacentes no es suficiente para asegurar una adecuada protección sanitaria.

Si se analizan los datos correspondientes a las tarjetas hidrosensibles ubicadas en el suelo, se observa en general, tendencia a mayor deriva para el tratamiento TT en todos los puntos de observación, con diferencias significativas en los sitios interfilar aledaño (22 veces mayor) y primera hilera aledaño (15 veces mayor) (figura 5, pág. 92).

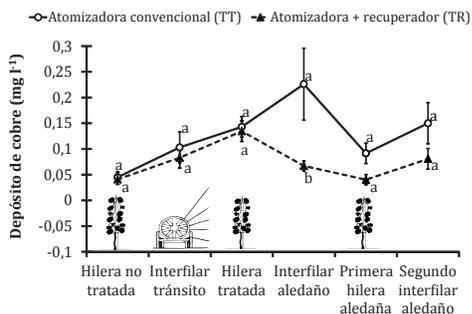


Las barras verticales indican el error estándar. Para cada posición, letras iguales no difieren entre sí estadísticamente (LSD Fisher test, $p \leq 0,05$, $n=4$).

Vertical bars indicate standard error. For each position, same letter do not differ statistically (LSD Fisher test, $p \leq 0,05$, $n=4$).

Figura 2. Depósito de cobre sobre la hilera tratada y dos aledaños. Fecha de aplicación: marzo de 2011.

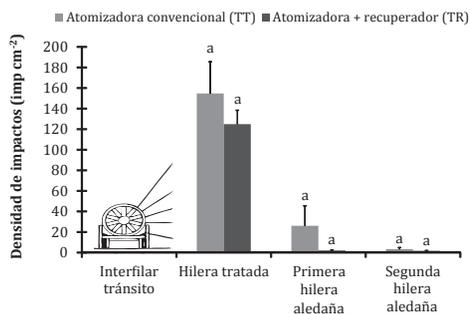
Figure 2. Copper deposit on treated and two adjacent rows. Spraying date: March 2011.



Las barras verticales indican el error estándar. Para cada posición, letras iguales no difieren entre sí estadísticamente (LSD Fisher test, $p \leq 0,05$, $n=4$).
 Vertical bars indicate standard error. For each position, same letter do not differ statistically (LSD Fisher test, $p \leq 0,05$, $n=4$).

Figura 3. Pérdidas ocasionadas por deriva en el suelo determinada en cantidad de depósito.
 Fecha de aplicación: marzo de 2011.

Figure 3. Drift losses in the soil expressed in deposit amount.
 Sprayin date: March 2011.



Las barras verticales indican el error estándar. Para cada posición, letras iguales no difieren entre sí estadísticamente (LSD Fisher test, $p \leq 0,05$, $n=4$).
 Vertical bars indicate standard error. For each position, same letter do not differ statistically (LSD Fisher test, $p \leq 0,05$, $n=4$).

Figura 4. Densidad de pulverizado (impactos por unidad de superficie) en receptores ubicados en distintos niveles y profundidades de la canopia de la hilera tratada, primera y segunda aledaños.
 Fecha de aplicación: marzo de 2011.

Figure 4. Spray density (impacts per unit area) on receptors located at different levels and depths of the canopy of treated row, first and second adjacent. Spraying date: March 2011.

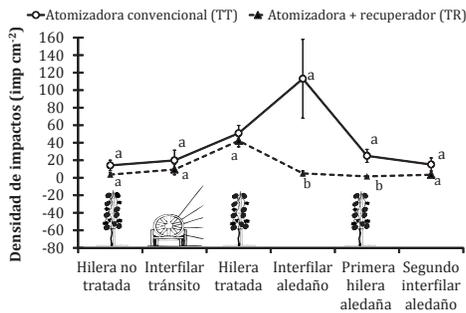
DISCUSIÓN

Al pulverizar sin vegetación y de manera estática, solo el 5% del volumen aplicado escapa a la recuperación del panel, valor similar al obtenido en equipos comerciales de túnel (5). Este valor puede reducirse aún más mediante el uso de accesorios como los deflectores usados en algunos túneles de pulverización (14).

La proporción de pulverización recuperada por el prototipo es similar a la obtenida en los túneles de pulverización donde se llega a ahorrar entre 28 y 32% de principio activo (3, 11).

Ensayos con pulverizadoras de túnel en viñedos, obtuvieron niveles de recuperación de hasta 50 a 67% a principios de temporada, disminuyendo a 20 y 23%, dependiendo del volumen aplicado, y hasta el 9% al aumentar el desarrollo de la canopia (2, 17).

La significancia económica de esta recuperación será directamente proporcional al valor del agroquímico utilizado.



Las barras verticales indican el error estándar.
Letras iguales no difieren entre sí estadísticamente
(LSD Fisher test, $p \leq 0,05$, $n=4$).

Vertical bars indicate standard error. For each
position, same letter do not differ statistically
(LSD Fisher test, $p \leq 0,05$, $n=4$).

Figura 5. Pérdidas ocasionadas por deriva en el suelo obtenidas a través de las determinaciones con papel hidrosensible.

Fecha de aplicación: marzo de 2011.

Figure 5. Drift losses on the ground obtained through measurements with water sensitive paper.
Spraying date: March 2011.

El ahorro de producto y de agua será mayor a medida que aumente el número de aplicaciones que se realicen en la temporada, por ejemplo en zonas agroecológicas de alta susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades, o en temporadas con condiciones climáticas predisponentes para la aparición de las mismas. Al ahorro económico de producto fitosanitario se suma la menor frecuencia de recarga del tanque de la pulverizadora, lo cual representa una reducción de jornales necesarios para la aplicación y una disminución en el consumo de combustible. Esta tecnología de recuperación de fitosanitarios puede

ayudar a mejorar los indicadores de sustentabilidad propuestos para los viñedos locales (1).

Cuando las aplicaciones fitosanitarias son poco eficientes por la incorrecta calibración o directamente la falta de ella, los agricultores normalmente aplican caldo en exceso para verificar de manera visual que el pulverizado "moje bien" la vegetación tratada. En estas situaciones, que se presentan con frecuencia en la vitivinicultura regional, se pierde pulverizado por escurrimiento pero también las pérdidas por deriva aumentan y el uso de la pantalla puede mitigar en parte esta ineficiencia en la aplicación.

Por otra parte, en viñedos en espaldera con alta discontinuidad en la vegetación, ya sea por bajo vigor o por una elevada incidencia de plantas faltantes o "fallas", los niveles de recuperación se acrecentarán.

Teniendo en cuenta la escasa fertilidad de los suelos vitivinícolas de la región, la utilización local de variedades viníferas de limitado vigor y viñedos añosos, es común encontrar canopias con vegetación altamente permeable.

El depósito de producto y la cantidad de impactos por superficie en la canopia tratada con el panel fue similar a la pulverización convencional. Estos resultados se diferencian de los obtenidos en Italia, donde se lograron mayores depósitos trabajando con un pulverizadora con sistema de recuperación (2). Esto se puede deber a la presencia de dos ventiladores axiales que permiten la recirculación del caldo de pulverización.

Aunque en el estudio no es posible discriminar entre el pulverizado que se pierde por escurrimiento en el follaje y por deriva; en el aire, por evaporación, en el suelo o en las hileras adyacentes; estudios previos concuerdan respecto de que una importante proporción de

la deriva se deposita en la superficie del suelo pudiendo llegar del 19 al 27% del volumen total aplicado (15), aumentando por ejemplo la concentración de metales pesados como el cobre, en los suelos agrícolas de Mendoza (12).

La importante variabilidad registrada en la distribución de los depósitos de pulverizado, que también se ha manifestado en otros estudios y es inherente al sistema de aplicación (15), evitó probablemente la manifestación de mayores diferencias estadísticas entre los tratamientos. La dificultad de controlar la nube de pulverización generada por un pulverizador hidroneumático convencional afecta no solamente a la cantidad de pérdidas sino también a la uniformidad de deposición (8).

La deriva de las pulverizaciones terrestres puede llegar a una distancia de 100 m desde el sitio de pulverización (7). En zonas próximas a viviendas, hospitales o escuelas, la utilización de la pantalla antideriva puede reducir los riesgos de contaminación para personas, animales, vegetales, suelo y agua.

CONCLUSIONES

Durante los tratamientos fitosanitarios convencionales en viñedos, una parte de la deriva que atraviesa la hilera tratada se deposita en las hileras aledañas, sin embargo una proporción del pulverizado se pierde en el suelo y el aire. El panel recuperador desarrollado reduce la deriva sin modificar la calidad del tratamiento fitosanitario, tanto en la distribución como en la cantidad del depósito de producto.

La cantidad de líquido recuperado durante las aplicaciones puede ser importante no solo a nivel económico sino también en el plano medioambiental, justificando el desarrollo de un modelo comercial del prototipo experimentado.

El sistema de recuperación reduce el consumo de agua y el número de recargas de la pulverizadora, influyendo positivamente en la huella hídrica y de carbono de la producción vitícola.

La posibilidad de acoplar el panel recuperador a la maquinaria existente, facilitará su adopción, como avance tecnológico de los tratamientos fitosanitarios en espalderos de vid.

En viñedos ubicados en zonas periurbanas, la utilización de esta tecnología puede ser fundamental para reducir de manera significativa los riesgos ambientales y toxicológicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abraham, L.; Alturria, L. V.; Fonzar, A.; Ceresa, A. M.; 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): 161-180.
2. Ade, G.; Balloni, S.; Pezzi, F. 2005. Valutazione di un'irroratrice a tunnel nei trattamenti al vigneto. *Informatore Fitopatologico.* 55(6): 37-43.
3. Baldoin, C.; De Zanche, C.; Bondesan, D. 2008. Field testing of a prototype recycling sprayer on vineyard: spray distribution and dispersion. *Agricultural Engineering International: The CIGRE journal.* Vol. X. (May): Manuscript ALNARP 08 001.
4. Behmer, S.; Di Prinzio, A.; Striebeck, G.; Magdalena, J. 2010. Evaluation of low-drift nozzles in agrochemical applications in orchards. *Chilean Journal of Agricultural Research.* 70(3): 498-502.

5. Bertoni. 2015. L' Arcobaleno. Disponible en: (<http://www.bertonigreentechology.com/es>). Acceso: 14/10/2015.
6. Del Monte, R. F.; Ambrogetti, A. O.; Becerra, V. C. 1996. Evaluación de los sistemas neumático y neumático-electrostático en la aplicación de pesticidas en viticultura. *Horticultura Argentina*. 15(39): 62-67.
7. Felsot, A. S.; Unsworth, J. B.; Linders, J. B. H. J.; Roberts, G.; Rautman, D.; Harris, C.; Carazo, E. 2010. Agrochemical spray drift; assessment and mitigation-A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 46(1): 1-23.
8. Gil, E. 2003. Equipos para la aplicación de fitosanitarios: Funcionamiento y prestaciones, En: *Tratamientos en viña. Equipos y Técnicas de aplicación*, 10. UPC, E. Ed.: Barcelona. p. 59-61.
9. Gil, E. 2003. Metodología de trabajo, En: *Tratamientos en viña. Equipos y Técnicas de aplicación*, 13. UPC, E., Ed.: Barcelona. p. 95-104.
10. Gil, E.; Arnó, J.; Llorens, J.; Sanz, R.; Llop, J.; Rosell-Polo, J.; Gallart, M.; Escolà, A. 2014. Advanced technologies for the improvement of spray application techniques in spanish viticulture: an overview. *Sensors*. 14(1): 691-708.
11. Jamar, L.; Mostade, O.; Huyghebaert, B.; Pigeon, O.; Lateur, M. 2010. Comparative performance of recycling tunnel and conventional sprayers using standard and drift-mitigating nozzles in dwarf apple orchards. *Crop Protection*. 29(6): 561-566.
12. 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. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 43(2): 203-221.
13. Matthews, G. A. 2008. Air-Assisted Sprayers, En: *Pesticide Application Methods*. Blackwell Science Ltd. p. 216-239.
14. Panneton, B.; Lacasse, B. 2004. Effect of air-assistance configuration on spray recovery and target coverage for a vineyard sprayer. *Canadian Biosystems Engineering*. 46(2): 13-18.
15. Pergher, G.; Gubiani, R.; Tonetto, G. 1997. Foliar deposition and pesticide losses from three air-assisted sprayers in a hedgerow vineyard. *Crop Protection*. 16(1): 25-33.
16. Planas de Martí, S. 2001. Prevención de la deriva en tratamientos fitosanitarios. *Vida Rural* (123): 54-57.
17. Planas, S.; Solanelles, F.; Fillat, A. 2002. PM-Power and Machinery: assessment of recycling tunnel sprayers in mediterranean vineyards and apple orchards. *Biosystems Engineering*. 82(1): 45-52.
18. Salyani, M.; Whitney, J. D. 1990. Ground speed effect on spray deposition inside citrus trees. *Transactions of the ASAE*. 12(5): 539-545.
19. Sinfort, C.; Cotteux, E.; Bonicelli, B.; Ruelle, B. 2009. Une méthodologie pour évaluer les pertes de pesticides vers l'environnement pendant les pulvérisations viticoles. Calais, France. STIC & Environnement. Disponible en: (<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00468867>). Acceso: 03/2013.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo del prototipo y su evaluación fueron financiados por el Proyecto Regional "Apoyo al desarrollo vitivinícola regional" y la línea de investigación "Prevención de la contaminación ambiental en la aplicación de pesticidas", del Centro Regional Mendoza-San Juan del INTA.

Reconocimiento a dos correctores anónimos por sus aportes en la mejora del escrito.

La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica

Specific surface of oxisols and its relationship with water retention

Hugo Alberto Ruiz¹, Guillermo Oliverio Sarli², Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer¹, Roberto Raul Filgueira², Fabiana Silva de Souza³

Originales: *Recepción*: 11/03/2015 - *Aceptación*: 10/03/2016

RESUMEN

Se estimó la superficie específica (SE) de muestras de suelos mediante el método de adsorción de nitrógeno a 78 K, y se la relacionó con la capacidad de retención hídrica (RH), el contenido de arcilla, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC), y la cantidad de agua retenida sobre la superficie expuesta del suelo, en una aproximación de capas superpuestas. Se trabajó con veintisiete Oxisoles a potenciales hídricos equivalentes de -33, -500, -1000 y -1500 kPa. Se encontró una correlación positiva significativa entre la SE y RH, así como con el contenido de arcilla. No hubo una relación significativa de la dependencia entre la SE y la CIC. Entre la SE y el contenido de materia orgánica la correlación fue débil. La SE se relacionó con la RH por medio de ecuaciones de regresión lineal para cada potencial aplicado. Los resultados mostraron que la SE de estos Oxisoles puede ser estimada adecuadamente por la retención de agua en el suelo en una amplia gama de potenciales matriciales. Finalmente, de la información de SE y RH para cada suelo se pudo estimar la cantidad de capas de agua que cubren toda la superficie de los poros expuesta al aire.

Palabras clave

adsorción de nitrógeno • potencial agua • BET-N₂ • espesor de capas de agua

-
- 1 Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa - UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. Brasil.
 - 2 Profesor de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidade Nacional de La Plata, 1900 La Plata, Argentina. gsarli@agro.unlp.edu.ar; fisica@agro.unlp.edu.ar.
 - 3 Estudiante de doctorado en Suelos y Nutrición Vegetal de la Universidad Federal de Viçosa - UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. Brasil.

ABSTRACT

The specific surface area of soil samples was estimated by the method of nitrogen adsorption at 78 K, and it was related to the water retention capacity, clay content, cation exchange capacity, and the amount of water retained on the exposed soil surface, in an approximation of superimposed layers. Twenty seven Oxisols were investigated. Soil moisture retention was studied at water potentials -33, -500, -1000 and -1500 kPa. The specific surface area was positively correlated to soil moisture and with clay content. No relationship was found between specific surface area and cation exchange capacity. Between specific surface area and soil organic content only a weak correlation was found. The specific surface area was related with soil moisture content by linear equations obtained by the regression method of data, for each water potential applied. The results showed that the specific surface area of these Oxisols can be reasonable estimated by water retention in a wide range of matrix potentials. Finally, from the obtained data on specific surface area and water retention it was possible to estimate the thickness of the water film covering the entire surface of the soil pores exposed to the air.

Keywords

nitrogen adsorption • water potential • BET-N₂ • water layer thickness

INTRODUCCIÓN

La superficie específica (SE) es una propiedad de los sólidos que se define como la relación entre el área superficial expuesta y la masa del sólido (m² g⁻¹). La SE del suelo varía notablemente con la distribución del tamaño de las partículas inorgánicas, la composición mineralógica y, en menor medida, con el contenido de los componentes orgánicos. Su estimación es importante porque influye significativamente en las propiedades físico-químicas del suelo (10, 32).

Muchos procesos físicos y químicos se realizan con intervención de la superficie de sus constituyentes (14). En este sentido, se pueden mencionar los fenómenos de retención de agua en el suelo, la adsorción de compuestos orgánicos (1, 3, 23), y el intercambio iónico (7, 29).

La estimación de la SE depende en gran medida del método de medición utilizado.

Entre los métodos disponibles para la medición de la SE se encuentran los que usan la sorción de moléculas orgánicas polares, tales como Etilenglicol (EG), Eter monoetilico del etilenglicol (EGME) y Glicerol para la formación de una monocapa sobre la superficie adsorbente (3).

El líquido más comúnmente utilizado es el EGME (15, 34). También se emplean procedimientos basados en la adsorción física de átomos y moléculas no polares en estado gaseoso (por ejemplo Ar, Kr, N₂). Hasta el presente, el método aceptado internacionalmente como más confiable para la determinación de la superficie específica de un sólido, se basa en la interpretación de las isotermas de adsorción de N₂ a bajas temperaturas (78 K) mediante el modelo de Brunauer, Emmett y Teller (BET) (1938) (3, 17, 19, 22, 26). Este método, se considera adecuado para la determinación de la superficie específica

de materiales no expansivos, como ciertas arcillas y suelos, entre otras sustancias, aunque tiene el inconveniente de requerir el uso de equipos sofisticados y costosos, y demandar considerable tiempo para las determinaciones.

El estudio del estado energético del agua del suelo es muy importante desde el punto de vista físico y agronómico (20, 25). Una parte del agua que llega al suelo, debido a la irrigación o a la lluvia, se infiltra, movida por la acción gravitatoria y por capilaridad, a través del sistema poroso del mismo. Parte de este agua se moverá hacia las capas más profundas y otra quedará retenida en la matriz porosa del suelo, en capilares de diferentes formas y tamaños. En la medida que el agua se vaya perdiendo, ya sea porque las raíces de las plantas la toman, o porque en la superficie se produce la evaporación, los capilares se van vaciando de acuerdo con su tamaño. Los gases atmosféricos ocupan estos vacíos, quedando capas de agua de diversos espesores adheridas al material sólido. El agua así retenida en la matriz del suelo tiene un estado energético menor que el agua libre.

Para el caso de los suelos, la relación entre el contenido de humedad del mismo y la fuerza con que esta es retenida se describe habitualmente mediante la curva de retención de humedad o de retención hídrica (RH, kg kg^{-1}). La obtención de esta relación es habitual en muchos laboratorios de estudio de suelos utilizando un recipiente cerrado, que posee una placa porosa, sometido a distintas presiones para desalojar el agua de los capilares (24). También pueden utilizarse, para ciertos potenciales, una centrífuga o la llamada mesa de tensión (18).

Las presiones con que se desaloja el agua de los poros de las muestras

varían entre experimentos. A medida que el contenido de humedad del suelo disminuye, se requiere más energía para extraer el agua retenida.

La RH de agua del suelo en suelos con un predominio de los minerales de arcilla no expansibles, de baja capacidad de intercambio catiónico, y pH dependiente, podría ser utilizada para estimar la SE del suelo de forma rápida y precisa.

Hipótesis

Hay una relación entre la adsorción de nitrógeno gaseoso y la RH a bajos potenciales en suelos. Este conocimiento permitiría extraer conclusiones respecto del espesor de las capas de agua que cubren el material sólido.

Objetivo

Utilizar la adsorción de N_2 para obtener la SE de numerosos suelos y relacionarla con la retención hídrica en los mismos. A partir de los datos experimentales, obtener ecuaciones sencillas con las que se pueda calcular la SE y también estimar el número de capas de agua remanente sobre el material sólido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las determinaciones de SE y de RH se realizó en muestras de suelo secas al aire de 27 Oxisoles, seleccionados debido a la amplia variación de contenido de arcilla (tabla 1, pág. 98).

Las muestras obtenidas fueron superficiales, del horizonte A, de una profundidad hasta 20 cm, de suelos del Estado de Minas Gerais, Brasil. Las mismas fueron suministradas por agricultores de ese Estado, para su análisis en el laboratorio de la Universidade Federal de Vicosa.

Tabla 1. Media, desviación estándar, valores extremos y coeficiente de variación (CV) de superficie específica, fracciones granulométricas, materia orgánica del suelo, capacidad de intercambio catiónico efectiva, y retención de agua para los 27 suelos estudiados y coeficiente de correlación lineal simple (R) entre la superficie específica y las otras propiedades.

Table 1. Mean, standard deviation, extreme values and coefficient of variation (CV) of specific surface, particle size fractions, soil organic matter, effective cation exchange capacity, and water retention for the 27 soils studied and simple linear correlation coefficient (R) between the specific surface and other properties.

Variable	Media	Desv. Est.	Máximo	Mínimo	CV (%)	R
Superficie específica (m ² g ⁻¹)	25,310	15,780	59,520	8,430	62,4	
Limo (kg kg ⁻¹)	0,103	0,076	0,300	0,010	72,2	0,685**
Arcilla (kg kg ⁻¹)	0,432	0,205	0,840	0,170	47,6	0,914**
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	18,500	14,600	55,300	0,000	79,1	0,408 *
CIC efectiva (cmol _c dm ⁻³)	1,380	1,090	4,330	0,030	79,3	-0,087
Retención de agua (kg kg ⁻¹)						
-33 kPa	0,190	0,087	0,345	0,079	46,0	0,964**
-500 kPa	0,145	0,074	0,276	0,054	51,5	0,962**
-1000 kPa	0,134	0,071	0,257	0,051	53,2	0,951**
-1500 kPa	0,123	0,069	0,257	0,041	55,9	0,955**

* y **: significancia al 5 y 1%, respectivamente, por test t.

* y **: significance at 5 and 1%, respectively, by t-test.

Las medidas de SE se realizaron en el Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, por el método BET-N₂, en un instrumento construido y calibrado conforme a lo especificado en Sarli *et al.* (1993).

Muestras de suelos de aproximadamente 1,25 g por triplicado, se introdujeron en portamuestras de vidrio y fueron sometidas a vacío por 12 h a 313 K, para eliminar gases atmosféricos y agua adsorbidos. Luego fueron mantenidos bajo vacío a temperatura ambiente.

Posteriormente, los portamuestras fueron conectados al instrumento y variadas cantidades de N₂ gaseoso (pureza 99,99%) fueron adsorbidas sobre las muestras mantenidas a 78 K en un baño de N₂ líquido. Con los volúmenes de gas administrados y las presiones

de equilibrio obtenidas en cada caso se construyeron las isotermas de adsorción, las cuales fueron interpretadas con el modelo BET para el cálculo de la SE. Más detalles se pueden encontrar en Brunauer *at al.* (1938) y Sarli *et al.* (1993).

Las medidas de RH y la caracterización de los suelos se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad Federal de Viçosa. La RH de agua de los suelos se determinó utilizando dos instrumentos: una centrífuga (para el potencial hídrico -33 kPa) y un equipo de presión con placa porosa para los demás potenciales, utilizando tres repeticiones.

Las muestras se colocaron en cajas específicas con papel de filtro. A continuación, las muestras se saturaron durante 24 h. Estas se colocaron luego en una centrífuga con 2440 rpm durante 30 min.

Por último, se determinó el contenido de agua de las muestras, que se consideraron al valor de potencial hídrico de -33 kPa (28).

Otras muestras de suelos fueron colocadas en anillos de goma sobre una placa de cerámica porosa, la cual fue saturada por 24 h con agua.

Luego, la placa se colocó en un recipiente que se sometió a presiones, manteniendo las mismas durante 72 h.

Las presiones utilizadas resultaron equivalentes a potenciales de extracción de agua de -500, -1000 y -1500 kPa. Después de estas extracciones, se determinaron los contenidos de agua de equilibrio para cada potencial aplicado (11).

El tema de la obtención de la función de retención hídrica de suelo ha sido motivo de interés en los últimos años en búsqueda de una mayor precisión en las determinaciones (6, 31).

El análisis del tamaño de partícula se realizó por el método de la pipeta, utilizando como agente de dispersión de NaOH 0,1 mol L⁻¹ y la agitación mecánica lenta (27).

El carbono orgánico del suelo se determinó por el método de Walkley-Black modificado con la oxidación de la materia orgánica del suelo húmedo (8).

La materia orgánica del suelo se estimó multiplicando el contenido de carbono orgánico por el factor de conversión (1,724). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) efectiva se calculó a partir de la suma de Ca, Mg, K y Al intercambiables. Las fracciones de Ca, Mg y Al se extrajeron con KCl 1 mol L⁻¹ (35) y se midieron por espectrofotometría de absorción atómica. El contenido de K intercambiable se dosificó por fotometría de llama después de la extracción con la metodología Mehlich-1 (9).

Teniendo en cuenta el comportamiento observado entre la SE y la RH del suelo (figura 1, pág. 100) se consideró

de utilidad relacionar ambas propiedades de manera más general. Esto se hizo mediante el proceso de regresión que involucra los parámetros ordenada al origen y pendiente de cada recta, con la tensión de trabajo ($T = -\Psi$) para desalojar el agua de los poros. Por lo tanto se obtienen dos ecuaciones, una para calcular la ordenada al origen (I) y otra para calcular la pendiente (D), que pueden ser utilizadas para estimar SE en función de RH a cualquier tensión de trabajo (T), dentro del rango estudiado:

$$SE = D \cdot RH + I \quad (1)$$

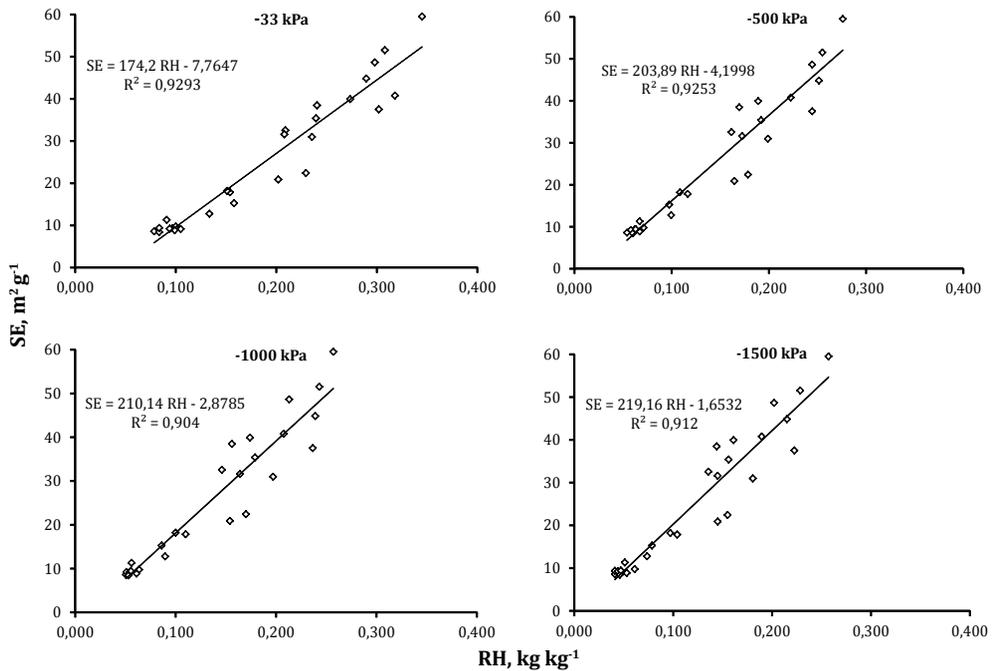
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de SE, RH y algunas características de los suelos investigados se muestran en la tabla 1 (pág. 98). Se encontró una correlación significativa positiva entre SE, RH y contenido de arcilla. Esta estrecha correlación se puede explicar debido a que la adsorción de nitrógeno y la retención de agua son fenómenos físicos relacionados con la superficie del sólido y el contenido de arcilla, aunque en el caso de la retención de agua el fenómeno de la capilaridad debe ser considerado.

Grohmann (1972) encontró una correlación positiva entre el contenido de arcilla y la superficie específica de varios Oxisoles.

Petersen *et al.* (1996) encontraron correlaciones significativas y positivas entre la superficie específica, contenido de arcilla y la retención de agua en muestras de suelo sometidas a bajos potenciales hídricos.

Se encontró una débil correlación entre la SE y el contenido de la materia orgánica del suelo. De acuerdo con resultados obtenidos por otros autores (12, 16, 22).



**significancia al 1% por teste t.

**significance at 1% by t test.

Figura 1. Relación entre superficie específica (SE) y retención de agua del suelo (RH), para cada potencial agua, en los Oxisoles estudiados.

Figure 1. Relationship between specific surface area and soil water retention for each water potential, in the studied Oxisols.

La materia orgánica por sí misma tiene una SE del orden de $1 \text{ m}^2 \text{g}^{-1}$ cuando se la estima con adsorción de N_2 . Si embargo puede llegar a modificar la superficie del sólido, tapando poros y evitando que el N_2 penetre en el interior de los mismos lo cual resulta en una débil o nula correlación entre la SE y la materia orgánica (12).

No se encontró una relación de dependencia significativa entre la SE y la capacidad de intercambio catiónico, de acuerdo con lo hallado por otros autores; en suelos tropicales una elevada SE no implica una elevada CIC (33). En estos suelos la presencia de gibbsita y de oxihidróxidos

de Fe y Al, puede revelar una elevada SE, pero con baja CIC efectiva, lo cual provoca una dispersión en los datos experimentales y consecuentemente una falta de relación lineal entre estas variables. Esto es diferente para suelos de climas templados, donde la CIC permanente es una propiedad útil para predecir la SE.

La relación entre la superficie específica y la retención de agua del suelo mostró altos valores de R^2 y tendencias definidas para todos los potenciales hídricos, lo que demuestra una estrecha relación entre estas propiedades (figura 1).

Un comportamiento similar observaron otros autores (5, 21, 23).

Utilizando los datos reportados por Bruand y Tessier (2000) de SE estimada por el método BET-N₂, RH y contenido de arcilla, en suelos de Francia, se obtuvo también una correlación significativa entre la RH a potenciales hídricos del suelo entre -1 y -1500 kPa, con el contenido de arcilla, y con la SE.

Con estos mismos datos se estimó las capas de agua adsorbidas obteniéndose resultados concordantes con los encontrados en este trabajo.

En la tabla 2 se reportan dos ecuaciones, una para calcular la ordenada al origen (I) y otra para calcular la pendiente (D), los cuales pueden ser utilizadas para estimar SE en función de RH a cualquier tensión de trabajo (T), mediante la ecuación 1 (pág. 99).

La retención de agua del suelo mostró una relación significativa cuando se la vinculó con el contenido de arcilla del suelo (figura 2, pág. 102).

En todos los casos el coeficiente de bondad del ajuste R², fue muy alto. Centurion y Andrioli (2000) observaron que la retención de agua, a las tensiones correspondientes a la capacidad de campo y punto de marchitez permanente, era

dependiente de las fracciones más finas del suelo (limo y arcilla).

El espesor de la capa de agua adsorbida y consecuentemente el número de capas, para cada tensión, fueron obtenidos a partir de la SE y RH para cada suelo y luego promediados. Para estos cálculos se consideró el diámetro equivalente de la molécula de agua igual a 0,367 nm (13).

Para el potencial de -33 kPa, el espesor de capa de agua calculado fue de 8,43 ± 1,79 nm, y el número de capas adsorbidas 23 ± 5; para -500 kPa 6,17 ± 1,04 nm y 17 ± 3; para -1,000 kPa; 5,65 ± 0,96 nm y 15 ± 3; para -1500 kPa 5,08 ± 0,86 nm, y 14 ± 2, respectivamente (tabla 3, pág. 103).

Valores similares fueron obtenidos por Bruand y Tessier (2000) para la tensión de trabajo 1000 kPa, siendo el número de capas adsorbidas obtenido de 13 ± 3 y para 1500 kPa, 12 ± 3, en materiales con contenido de arcilla entre 0,336 y 0,929 kg kg⁻¹.

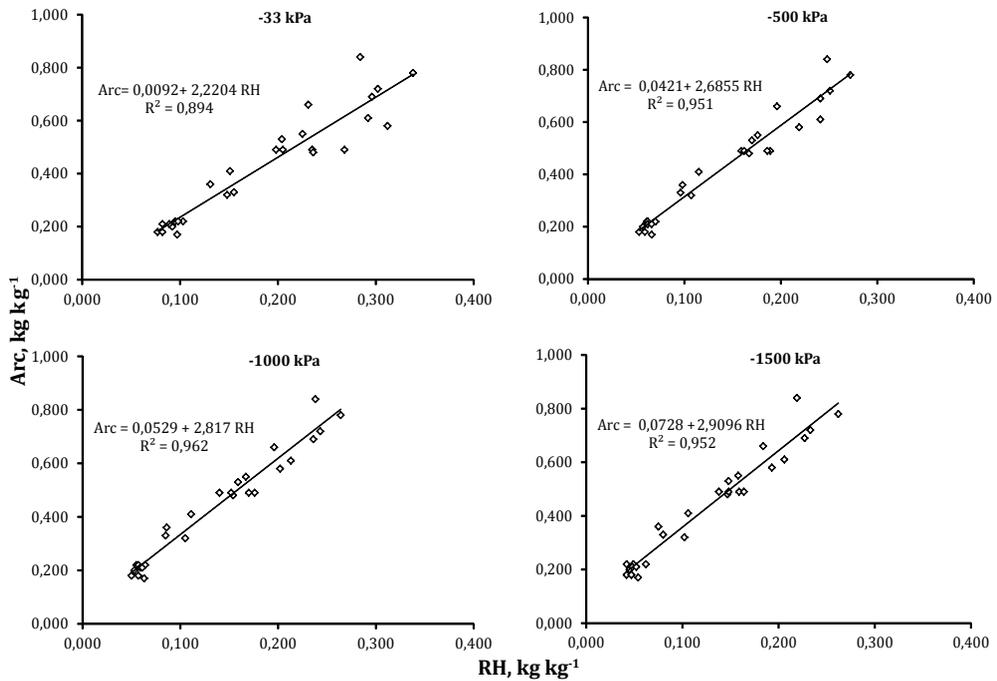
El agua se mantiene en el suelo por las fuerzas de adsorción en la superficie de las partículas y la tensión interfacial en los capilares.

Para tensiones altas (potenciales hídricos bajos), el contenido de agua forma una película, y las fuerzas de adsorción son dominantes.

Tabla 2. Ecuación de regresión para el cálculo de la ordenada al origen (I) y pendiente (D) de la ecuación de regresión lineal relacionando superficie específica con retención de agua del suelo, considerando la tensión de trabajo (T), en el intervalo 33-1500 kPa.

Table 2. Regression equation for calculating the intercept (I) and slope (D) of the linear equation relating specific surface with soil water retention, for tension stress (T) in the range 33-1500 kPa.

Parámetro	Ecuación de Regresión	R ²
Coordenada al origen	$I = -9,15 + 0,2520 T^{0,5} - 0,001545 T$	0,998
Pendiente	$D = 162,17 + 2,2670 T^{0,5} - 0,02127 T$	0,991



**significancia al 1% por test de t.

** significance at 1% by t test.

Figura 2. Relación entre el contenido de arcilla (Arc) y retención de agua del suelo (RH), para cada potencial agua, en los Oxisoles estudiados.

Figure 2. Relationship between clay content (Arc) and water retention of the soil (RH) for each water potential in the studied Oxisols.

Por el contrario, a tensiones bajas (potenciales altos), resultó mayor el espesor y número de capas de agua adsorbida (figura 3, pág. 103), la tensión

interfacial sería más importante y el modelo de capas superpuestas va perdiendo validez.

Tabla 3. Media, desviación estándar, valores extremos y coeficiente de variación (CV) del espesor y del número de capas de agua adsorbidas para cada potencial agua, en 27 suelos estudiados.

Table 3. Mean, standard deviation, extreme values and coefficient of variation (CV) of the thickness and the number of adsorbed layers of water for each water potential of 27 studied soils.

Potencial kPa	Media	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo	CV %
Espesor (nm)					
-33	8,43	1,79	11,47	5,80	13,72
-500	6,17	1,04	7,96	4,41	16,34
-1000	5,65	0,96	7,58	4,05	17,51
-1500	5,08	0,86	6,94	3,74	18,92
Número de capas					
-33	23	5	31	16	6,47
-500	17	3	22	12	7,70
-1000	15	3	21	11	8,26
-1500	14	2	19	10	8,92

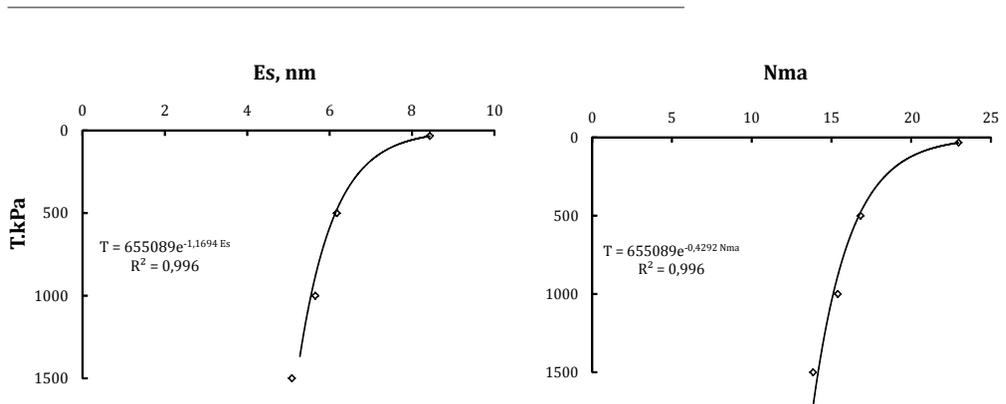


Figura 3. Relación entre la tensión de trabajo ($T = -\Psi$), el espesor de la capa de agua (E_s) y el número de capas de agua adsorbidas (N_{ma}) para los Oxisoles estudiados. Cada punto representa el promedio de 27 datos.

Figure 3. Relationship between the operating tension ($T = -\Psi$), the thickness of the water layer and the number of layers of adsorbed water (N_{ma}) for the studied Oxisols. Each point results from the mean of 27 data.

CONCLUSIÓN

La superficie específica de los Oxisoles puede ser estimada en forma adecuada por experimentos de retención hídrica, en un amplio rango de potenciales, facilitando la

estimación de esta propiedad del suelo. Se ha podido determinar, en un modelo de capas superpuestas, la cantidad de agua adsorbida para los potenciales utilizados en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bruand, A.; Tessier, D. 2000. Water retention properties of the clay in soils developed on clayey sediments: significance of parent material and soil history. *Eur. J. Soil Sci.* 51: 679-688.
2. Brunauer, S.; Emmett, P. H.; Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 60: 309-319.
3. Carter, D. L.; Mortland, M. M.; Kemper, W. D. 1986. Specific surface. In: Klute, A., ed. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2 nd. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 413-423.
4. Centurion, J.; Andrioli, I. 2000. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. *R. Bras. Ci. Solo.* 24: 701-709.
5. Churchman, G. J.; Burke, C. M. 1991. Properties of subsoil in relation to various measures of surface area and water content. *J. Soil Sci.* 42: 463-478.
6. Cresswell, H. P.; Green, T. W.; Mckenzie, N. J. 2008. The adequacy of pressure plate apparatus for determining soil water retention. *SSSAJ.* 72(1): 41-49.
7. Curtin, D.; Smillie, G. W. 1976. Estimation of components of soil cation exchange capacity from measurements of specific surface and organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 461-462.
8. Defelipo, B. V.; Ribeiro, A. C. 1981. Análise química do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. *Boletim de Extensão*, 29. 17 p.
9. Defelipo, B. V.; Ribeiro, A. C. 1997. Análise química do solo. 2 ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. *Boletim de Extensão*. 29. 26 p.
10. Di Ciocco, C. A.; Sandler, R. V.; Falco, L. B.; Coviella, C. E. 2014. Actividad microbológica 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.
11. Gardner, W. H. 1986. Content. In: Klute, A., ed. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2 nd. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 377-382.
12. Gelati, P. R.; Sarli, G. O.; Soracco, C. G.; Lozano, L. A.; Filgueira, R. R. 2009. Influencia de la materia orgánica en la superficie específica de un Argiudol típico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 41(2): 117-126.
13. Gregg, S. J.; ING, K. S. W. 1995. *Adsorption, Surface Area and Porosity*. Academic Press. London. 238 p.
14. Grohmann, F. 1972. Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. I-Estudo de perfis com horizonte B textural e B latossólico. *Bragantia.* 31: 145-165.
15. Heilman, M. D.; Carter, D. L.; Gonzalez, C. L. 1965. The ethylene glycol monoethyl ether technique for determining soil surface area. *Soil Sci.* 100: 409-413.
16. Kahle, M.; Kleber, M.; Jahn, R. 2002. Predicting carbon content in illitic clay fractions from surface area, cation exchange capacity and dithionite-extractable iron. *Eur. J. Soil Sci.* 53: 639-644.
17. Kaiser, K.; Guggenberger, G. 2003. Mineral surfaces and soil organic matter. *Eur. J. Soil Sci.* 54: 219-236.
18. Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Water retention. Laboratory methods.* ASA-SSSA, Wisconsin. 635-662.
19. Mayer, L. M.; Xing, B. 2001. Organic matter-surface area relationships in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 250-258.

20. 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.
21. Morin, R. E.; Jacobs, H. S. 1964. Surface area determination of soils by adsorption of ethylene glycol vapor. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 28: 190-194.
22. Pennell, K. D.; Abriola, L. M.; Boyd, S. A. 1995. Surface area of soil organic matter reexamined. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1012-1018.
23. Petersen, L. W.; Moldrup, P.; Jacobsen, O. H.; Rolston, D. E. 1996. Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties. *Soil Sci.* 161: 9-21.
24. Richards, L. A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science.* 66(2): 105-110.
25. Ríos Flores, J. L.; Torres Moreno, M.; Castro Franco, R.; Torres Moreno, M. A.; Ruiz Torres, J. 2015. Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 93-107.
26. Rolim Neto, F. C.; Schaefer, C. E. G. R.; Costa, L. M.; Corrêa, M. M.; Fernandes Filho, E. I.; Ibraimo, M. M. 2004. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). *R. Bras. Ci. Solo.* 28: 953-964.
27. Ruiz, H. A. 2005. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo.* 29: 297-300.
28. Ruiz, H. A.; Ferreira, G. B.; Pereira, J. B. M. 2003. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. *R. Bras. Ci. Solo.* 27: 389-393.
29. Sambatti, J. A.; Costa, A. C. S.; Muniz, A. S.; Sengik, E.; Souza Junior, I. G.; Bigham, J. M. 2002. Relações entre a substituição isomórfica de Fe por Al e as características químicas e mineralógicas de hematitas sintéticas. *R. Bras. Ci. Solo.* 26: 117-124.
30. Sarli, G. O.; Piro, A.; Filgueira, R. R. 1993. Puesta a punto de un método para medir superficie específica de suelos. *Ciencia del Suelo*, 10-11: 85-88.
31. Solone, R.; Bittelli, M.; Tomei, F.; Morari, F. 2012. Errors in water retention curves determined with pressure plates: Effects on the soil water balance. *Journal of Hydrology.* 470-471: 65-74.
32. Soracco, C. G.; Lozano, L. A.; Filgueira, R. E.; Fournier, L. L.; Sarli, G. O. 2010. Funciones de transferencia edafológica adaptadas a suelos de La Plata, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 42(2): 111-115.
33. Souza Junior, I. G.; Costa, A. C. S.; Sambatti, J. A.; Peternele, W. S.; Tormena, C. A.; Montes, C. R.; Clemente, C. A. 2007. Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. *R. Bras. Ci. Solo.* 31: 1355-1365.
34. Tiller, K. G.; Smith, L. H. 1990. Limitations of EGME retention to estimate the surface area of soils. *Aust. J. Soil Res.* 28: 1-26.
35. Vettori, L. 1969. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. *Boletim Técnico*, 7. 24p.

Evaluación de la aplicación de biosólidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, en Chile central

Monitoring of biosolid application trials in *Eucalyptus globulus* plantation, in Central Chile

Sergio Donoso, Karen Peña-Rojas, Evelyn Galdames, Cristián Pacheco, Claudia Espinoza, Sergio Durán, Rodrigo Gangas

Originales: *Recepción*: 19/08/2015 - *Aceptación*: 23/03/2016

RESUMEN

La fertilización con biosólidos es una alternativa para la utilización benéfica de residuos generados por las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS). En este contexto, es necesario conocer su efecto en plantaciones forestales. El estudio se efectuó en dos plantaciones de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) en la Región Metropolitana de Santiago: 1) plantación de 12 años sin intervenciones silvícolas; 2) monte bajo con rebrotes de 2 años con múltiples vástagos por cepa. En ellas se ensayaron tres montos de aplicación de biosólidos: T0 (adición de 0 Mg ha⁻¹), T30 (30 Mg ha⁻¹), T50 (50 Mg ha⁻¹). En cada plantación se evaluó, en un período de cuatro años, crecimiento en diámetro, potencial hídrico y contenido hídrico relativo a prealba, y estado nutricional foliar de los árboles durante dos años. El principal resultado corresponde al mejoramiento de la condición hídrica de árboles fertilizados con biosólidos, en la plantación adulta. El sector de monte bajo no presentó diferencias significativas en las variables evaluadas, al provenir de rebrotes de cepas cosechadas, teniendo una raíz desarrollada que suministra agua y nutrientes a rebrotes nuevos.

Palabras clave

fertilización • potencial hídrico a prealba • crecimiento • monte bajo

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Departamento de Silvicultura, Santa Rosa N° 11.315, Santiago, Chile.
Casilla 9206. sedonoso@uchile.cl

ABSTRACT

Fertilization with biosolid is an option for beneficial use of waste generated from wastewater treatment plant. At this point of view, it is necessary know its effect in forest plantations. The study was established in two sectors with plantations of *Eucalyptus globulus* (blue gum), in the Región Metropolitana de Santiago: 1) 12 years old plantation, without silvicultural interventions; 2) coppice 2 years old, with multiple sprouts by stump. Were evaluated three amounts of biosolids applications: T0 (addition of 0 Mgha⁻¹), T30 (30 Mgha⁻¹), T50 (50 Mgha⁻¹). In each plantation diameter growth, predawn water potential and relative water content during four years and leaf nutritional status of the trees during two years were measured. The main results showed the improvement in the predawn water potential of trees fertilized with biosolids in the 12 years old plantations. The sector of coppice showed no significant differences in the variables evaluated, as this comes from shoots of harvested stools, taking lots of root mass which provides water and nutritional requirements for the trees.

Keywords

fertilization • predawn water potential • growth • coppice

INTRODUCCIÓN

Los lodos o biosólidos, son un subproducto originado durante el proceso de depuración de las aguas residuales (15). El almacenamiento de estos residuos, producto de su gran volumen, se ha convertido en un problema para las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en diferentes regiones del mundo (13). Por ejemplo, en la Región Metropolitana de Santiago de Chile, la generación de biosólidos alcanza actualmente los 75.555 Mg día⁻¹ (7). El uso de los desechos orgánicos, como fuente complementaria de nutrientes, parece ser una alternativa viable para dar solución a la problemática del almacenamiento de estos residuos (18).

Según *Environmental Protection Agency* (EPA) (12), los biosólidos pueden servir como una alternativa, o sustituto, a los costosos fertilizantes químicos. En general, permiten mejorar la disponibilidad de nutrientes, que en algunas ocasiones están ausentes o en cantidades

mínimas. Una tonelada de lodo puede contener alrededor de 30 kg de N, 15 kg de P y 5 kg de K (1). Asimismo, su aplicación puede mejorar características del suelo, como textura y capacidad de absorción de agua, lo que produciría condiciones más favorables para el crecimiento y desarrollo de raíces de las plantas (32, 35).

A nivel internacional, las investigaciones poseen más de 20 años de experiencia en el uso agrícola y forestal de biosólidos, y otros fertilizantes orgánicos, además de su aplicación en suelos degradados (2, 6, 8, 15, 16, 19, 21, 23, 24, 26, 28, 32, 34, 35, 36, 38, 39).

Sin embargo, en Sudamérica, las experiencias no han demostrado categóricamente el uso benéfico de biosólidos en plantaciones forestales (3, 4, 7, 25, 30, 31, 32, 37). Por ejemplo, en Argentina, se han realizado estudios aplicando compost de biosólidos en la producción de plantaciones de *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic.

Serm. & Bizzarri (ciprés de la cordillera), aumentando la altura, diámetro, biomasa aérea y biomasa radicular de los ejemplares estudiados (5).

En el caso de Chile, existen estudios realizados en la Región Metropolitana sobre la calidad de los biosólidos que se generan, su continuidad, viabilidad y dosis adecuadas, describiendo su aplicación en suelos agrícolas (4), siendo necesario ampliar estas experiencias al ámbito forestal (2).

En el marco de lo anteriormente expuesto, se plantea como hipótesis que la adición de biosólidos mejora el estado nutricional, el crecimiento en los árboles y la disponibilidad hídrica en el suelo.

Objetivo

Evaluar la respuesta en crecimiento, estado hídrico y estado nutricional de dos plantaciones de *Eucalyptus globulus*, en dos estados de desarrollo (juvenil y adulto), fertilizadas con biosólidos, en la zona central de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona central de Chile se caracteriza por presentar un clima mediterráneo, con precipitaciones concentradas en los meses de invierno. La temperatura media anual es de 13,9°C. El mes más cálido corresponde a enero, alcanzando una temperatura media de 22,1°C, y el mes más frío corresponde a julio con 7,7°C. La precipitación media es de 312,5 mm (9).

En la cordillera de La Costa, el relieve es suavemente ondulado, con pendientes que varían de 5 a 20%.

Los suelos corresponden a depósitos aluviales, meteorizados en una matriz de textura franco arcillosa, donde presentan

condiciones ligeramente ácidas (particularmente en el predio El Patagual), que favorecen tanto la solubilidad de los elementos traza metálicos como del fósforo.

Las plantaciones forestales en la zona corresponden principalmente a especies exóticas del género *Eucalyptus*, destacando *Eucalyptus globulus* Labill. (eucalipto).

En el año 2007 se seleccionaron dos plantaciones de *E. globulus*, ubicadas en la cordillera de La Costa de la Región Metropolitana de Santiago (figura 1, pág. 110) y distanciadas 7 km una de otra.

En el predio Peñuelas, presenta una clara influencia marina y mejores condiciones pluviométricas y de suelo que el predio Patagual, que presenta una menor influencia marina y un efecto de sombra de lluvia que se incrementa en dirección este.

Al inicio del estudio, la plantación situada en el predio Patagual tenía 12 años de edad y no había sido sometida a intervenciones silvícolas. Presentaba una altura media de 12,4 m, un área basal de 8,9 m² ha⁻¹ y 762 árboles ha⁻¹. La otra plantación (Predio Peñuelas), fue cosechada el año 2005 y al inicio del ensayo se presentaba como un monte bajo, con 1.978 vástagos ha⁻¹ que alcanzaban una altura media de 6,6 m y un área basal de 3,5 m² ha⁻¹ (figura 2, pág. 110).

Se establecieron los ensayos en marzo del año 2007. En cada una de las plantaciones se seleccionó dos sectores homogéneos de cinco hectáreas, para realizar la aplicación de biosólidos. Estos, en mayo de 2007, fueron depositados en zanjas de 30 cm de profundidad por 60 cm de ancho aproximadamente, entre las hileras de plantación. Se utilizó lodos digeridos y estabilizados, con una humedad promedio de 30%, provenientes de la planta de tratamientos de aguas servidas El Trebal, Región Metropolitana de Santiago (tabla 1, pág. 111).



Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo.

Figure 1. Location of sampling sites.



Figura 2. A la izquierda, vista plantación en predio Patagual y a la derecha, vista de plantación en predio Peñuelas, luego de la aplicación de biosólidos.

Figure 2. On the left, view Patagual plantation and right view of Peñuelas plantation, after biosolids application.

Tabla 1. Composición química de los lodos (año 2007).
Table 1. Chemical composition of the sludge (year 2007).

Categoría	Variable	Unidad	Planta El Trenal	Concentración máxima permitida (Conama)
Caracterización básica	Conductividad eléctrica (suspensión biosólido-agua)	dS m ⁻¹	7,8	-
	pH (1-2,5)	-	6,8	-
	Materia orgánica	%	42	-
	Relación C/N	-	7,0	-
	Nitrógeno total (N)	%	3,5	-
	Nitrógeno disponible (N)	mg kg ⁻¹ (ppm)	2140 (1)	-
	Fósforo total (P)	%	2,3	-
	Fósforo disponible (P)	mg kg ⁻¹	580 (1)	-
	Potasio total (K)	%	0,3	-
	Potasio disponible (K)	mg kg ⁻¹	2463 (2)	-
Macronutrientes	Calcio total (Ca)	%	2,3 a 5,5 (3)	-
	Azufre total (S)	%	0,27 (1)	-
	Magnesio total (Mg)	%	0,5 a 1 (3)	-
	Hierro (Fe)	mg kg ⁻¹	27000 (1)	-
	Manganeso (Mn)	mg kg ⁻¹	547 (1)	-
	Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	1.484	2000
	Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	624	1000
	Boro (B)	mg kg ⁻¹	-	-
	Molibdeno (Mo)	mg kg ⁻¹	17,3 (1)	10
	Cloro (Cl)	mg kg ⁻¹	-	-
Elementos beneficiosos para las plantas (4; contenido total)	Níquel (Ni)	mg kg ⁻¹	67	80
	Sodio (Na)	mg kg ⁻¹	1200 (1)	-
	Selenio (Se)	mg kg ⁻¹	3,1	50
	Cromo (Cr)	mg kg ⁻¹	274 (3)	-
	Arsénico (As)	mg kg ⁻¹	13	20
Elementos no esenciales para las plantas (5; contenido total)	Cadmio (Cd)	mg kg ⁻¹	2,7	8
	Plomo (Pb)	mg kg ⁻¹	56	300
	Mercurio (Hg)	mg kg ⁻¹	1,3	4

(1) Valores referenciales tomados de González, 2005 / (1) Reference values indicated by González, 2005.

(2) Valor referencial de acuerdo con el porcentaje de disponibilidad calculado a partir de González, 2005 / (2) Reference value according to availability percentage calculated from González, 2005.

(3) Valores referenciales tomados de Arata, 2005 / (3) Reference values indicated by Arata, 2005.

Se estableció un dispositivo experimental con un diseño de bloques al azar. En cada plantación se delimitaron tres bloques, con tres parcelas de tratamiento de 400 m² en cada uno de los bloques. Se estableció un tratamiento control (T0) con aplicación de 0 Mg ha⁻¹ de biosólidos, y dos tratamientos, T30 y T50, con dosis de 30 Mg ha⁻¹ y 50 Mg ha⁻¹ de biosólidos respectivamente, donde su base se fundamenta en las restricciones de la normativa chilena y europea.

Al término del período estival (marzo), las variables evaluadas correspondieron a:

- Crecimiento en diámetro a la altura del pecho (DAP), que se evaluó a todos los árboles utilizando una cinta diamétrica con precisión al milímetro (mm).

- Estado hídrico de los árboles mediante el potencial hídrico (Ψ) y contenido hídrico relativo (CHR) a prealba. Se seleccionó cuatro árboles por parcela, de alturas similares, a los que se les colectó un brote por árbol con al menos tres hojas sanas, completamente desarrolladas del tercio superior de la copa y de características similares en cuanto al tamaño, tanto en mayo del 2007 (sin aplicación de biosólidos) como en mayo 2008 (con aplicación de biosólidos).

La medición del potencial hídrico se efectuó a prealba mediante una bomba de presión de tipo Scholander para evaluar el potencial agua en el xilema. Posteriormente, los brotes se pesaron en terreno (peso fresco), y luego fueron guardados en oscuridad, en frascos herméticos con agua destilada a 4°C por 24 horas, para así obtener el peso hidratado.

Finalmente, los ramillos se secaron en una estufa de aire forzado a 65°C, hasta alcanzar un peso constante, determinando el peso seco.

El cálculo del contenido hídrico relativo (CHR) responde a la siguiente ecuación:

$$\text{CHR (\%)} = 100 * (\text{Peso Fresco} - \text{Peso Seco}) / (\text{Peso Hidratado} - \text{Peso Seco})$$

Estado nutricional foliar

Se colectaron 100 gramos de hojas frescas (unas 80-100 hojas), provenientes del tercio superior de tres árboles dominantes originales, por tratamiento, durante los meses de mayo 2007 y 2008. Una vez secas, las muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis foliar en el Centro Regional La Platina del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en el cual se determinó la concentraciones de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Zinc, Magnesio, Calcio y Cobre.

Todas las evaluaciones se repitieron anualmente hasta el año 2010, excepto el estado nutricional de las hojas.

El análisis estadístico de los resultados del ensayo se realizó mediante un análisis de medidas repetidas para los incrementos diametrales, considerando como covariable el DAP inicial (marzo 2007) y con un $\alpha = 0,05$.

Para el potencial hídrico, contenido hídrico relativo a prealba y el estado nutricional foliar se utilizó como covariable los parámetros iniciales de las variables analizadas.

En el caso de existir diferencias, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de medias de Duncan para evaluar la significancia de estas. Cada predio y ensayo se analizó de forma independiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento en diámetro

El análisis del crecimiento diametral, mediante la evaluación de los incrementos en área basal (Gha) en el período mayo 2007 - mayo 2010, en ambos predios, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 2, pág. 113).

Tabla 2. Valores medios de incrementos en área basal (Gha) entre mayo 2007 y mayo 2010, para cada plantación.

Table 2. Average values of increases in basal area (Gha) among may 2007 and may 2010, for each plantation.

Tratamiento (Toneladas de biosólidos aplicados por hectárea)	Incremento Gha (m ² ha ⁻¹) entre 2007 y 2010	
	T0 (0 Mg ha ⁻¹)	5,1 a
T30 (30 Mg ha ⁻¹)	7,3 a	2,7 a
T50 (50 Mg ha ⁻¹)	5,6 a	0,7 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$), entre tratamientos de una misma plantación.
Different letters indicate significant differences ($\alpha= 0.05$), among treatments of the same plantation.

Los resultados se pueden atribuir a que los elementos aplicados en los biosólidos se liberan de forma lenta y gradual, pudiendo ser utilizados por las plantas en las distintas fases de su crecimiento (6, 36).

Investigadores neozelandeses sugieren un tiempo mínimo de estudio de cuatro años para determinar respuestas nutricionales en aplicaciones de biosólidos en plantaciones forestales (31). Es así como en Australia, la aplicación de biosólidos en un rodal de *Pinus radiata* D. Donde 21 años, generó incrementos en volumen que van de 12 a 42%, los cuales fueron visibles solo a partir del tercer año desde su aplicación (2).

También existen estudios en plantaciones forestales de *Pinus taeda* L. y *P. radiata*, que revelan considerables aumentos en DAP, altura y volumen hasta siete años después de la aplicación de biosólidos (8, 38).

De igual forma un ensayo realizado en la zona mediterránea de Valencia, con aplicación de biosólidos en brinzales de *Pinus halepensis* Mill, presentó, transcurridos tres años, incrementos significativos del diámetro basal con la dosis 30 Mg ha⁻¹ (16).

En ambos predios, T30 muestra incrementos mayores con respecto a los otros tratamientos, donde sin ser estos estadísticamente significativos, establece una tendencia de mejores resultados.

Estado hídrico

La evaluación del potencial hídrico y el contenido hídrico relativo a prealba, permitieron determinar el grado de restricción hídrica de las plantaciones estudiadas en la época de mayor estrés ambiental.

La condición inicial de los tratamientos en el predio Patagual (antes de la aplicación de biosólidos) presentó, durante la medición del año 2007, un mejor estado hídrico en el tratamiento control (T0) en comparación con los otros (T1 y T2) (tabla 3, pág. 114). Durante la medición del año 2008, se observó que el tratamiento control fue el que presentó la condición hídrica más deficitaria (-3,42 Mpa), y el tratamiento con aplicación de 50 Mg ha⁻¹ fue el que presentó el mejor estado hídrico (-2,75 Mpa), con un 83% de CHR (tabla 4, pág. 114).

Tabla 3. Valores medios de potencial hídrico a prealba (Ψ) por tratamiento de aplicación de biosólidos, en ambas plantaciones.**Table 3.** Average values of predawn water potential (Ψ) by treatment of biosolids application, in each plantation.

Año Tratamiento	Potencial hídrico a prealba (Ψ) (Mpa)							
	Predio Patagual				Predio Peñuelas			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
T0 (0 Mg ha ⁻¹)	-2,99 a	-3,42 b	-2,81 b*	-2,48 a	-1,25 a*	-1,77 a	-1,35 a	-1,73 ab
T30 (30 Mg ha ⁻¹)	-3,29 ab	-3,19 b	-2,68 ab*	-2,42 a	-1,47 b*	-1,95 a	-1,52 a	-1,85 a
T50 (50 Mg ha ⁻¹)	-3,59 b	-2,75 a	-2,38 a*	-2,17 a	-1,48 b*	-2,00 a	-1,52 a	-2,04 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$), entre tratamientos de un mismo año. Letras con asterisco (año 2007) corresponden a diferencias se presentan con $\alpha = 0,10$.

Different letters indicate significant differences ($\alpha = 0.05$) among treatments of the same year. Letters with asterisks (2007 year), differences occur with $\alpha = 0.10$.

Tabla 4. Valores de contenido hídrico relativo (CHR) a prealba por tratamiento de aplicación de biosólidos, en ambas plantaciones.**Table 4.** Values of predawn relative water content (CHR) by treatment of biosolids application, in both plantations.

Año Tratamiento	Contenido hídrico relativo (%) (CHR)							
	Predio Patagual				Predio Peñuelas			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
T0 (0 Mg ha ⁻¹)	88,9 a	79,2 ab	81,1 ab	84,5 a	89,3 a	84,6 a	87,8 a	87,2 a
T30 (30 Mg ha ⁻¹)	88,8 a	79,8 a	79,5 a	82,6 a	88,1 a	81,9 a	85,4 a	82,1 a
T50 (50 Mg ha ⁻¹)	88,7 a	83,0 b	83,0 b	84,1 a	87,7 a	81,8 a	86,3 a	89,3 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$), entre tratamientos de un mismo año.

Different letters indicate significant differences ($\alpha= 0.05$) among treatments of the same year.

Los resultados entre los tratamientos durante el año 2008 y 2009 para el predio Patagual, indican que la aplicación de biosólidos tiene un efecto benéfico y estadísticamente significativo en el estado hídrico de la plantación, a pesar de que el análisis no refleja diferencias significativas entre los tratamientos en 2010. Sin embargo, la tendencia del potencial hídrico es más favorable el año 2010, con el tratamiento T50 (tabla 3). Este

comportamiento coincide con los resultados indicados por Donoso *et al.* (2015) para *Acacia caven* (Mol). Mol.

En un ensayo de vivero bajo condiciones controladas, los autores mencionan que cuando las plantas entraron en la fase de restricción hídrica, aquellas que crecieron en un sustrato con biosólido presentaron una mejor condición hídrica en comparación con las plantas sin biosólido (11).

El predio Peñuelas al inicio del estudio (marzo de 2007), el sector donde se estableció tratamiento control presentó una condición hídrica significativamente favorable respecto de los otros tratamientos.

Durante los años 2008 y 2009, no hubo diferencias significativas, mientras que el tratamiento testigo (T0) presentó valores menos negativos de potencial hídrico frente a los dos tratamientos con biosólidos (T30 y T50) evaluados (tabla 3, pág. 114).

El año 2010, el tratamiento (T30) presentó un valor significativamente de potencial hídrico menos negativo que el tratamiento (T50), sin embargo durante todo el ensayo el tratamiento testigo presentó el valor de potencial hídrico menos negativo. Ahora al comparar entre sectores, el predio Peñuelas presenta condiciones hídricas claramente más favorables que el predio Patagual, tanto en los tratamientos control como con los de aplicación de biosólidos durante todos los períodos de medición.

Este comportamiento se puede explicar por el desarrollado del sistema radicular de las cepas, que sustenta ampliamente los requerimientos hídricos de los rebrotes. Diversos estudios confirman este comportamiento en la vegetación proveniente de rebrote (14, 27). Mc Creary (2004) señala que los rebrotes de *Quercus douglasii* Hook. & Arn. provenientes de cepa, producto de su desarrollado sistema radicular, tienen un mejor aprovechamiento del agua disponible en el suelo, lo cual les permite soportar de buena manera los períodos de sequía en comparación con una plantación proveniente de semillas (22).

Al considerar el régimen de precipitaciones, el clima mediterráneo influye en la cantidad de agua que queda disponible para los árboles durante el verano.

En el año 2006 las precipitaciones alcanzaron un total de 514,1 mm lo que corresponde a un año normal. A diferencia

de lo ocurrido en el año 2007, que presentó una menor precipitación en toda la zona, alcanzando un total anual de 192,1 mm (62,7% de déficit, con respecto al año 2006). Esta situación puede ser explicada por la reducción generalizada del potencial hídrico que se observa en el año 2008. Mientras en el año 2008 la precipitación anual fue de 577,3 mm, para el año 2009 fue de 336,7 mm, con un desplazamiento de lluvias hacia la primavera (9). Esta condición aumentó la cantidad de agua disponible para el período de verano siguiente (2010) lo que se ve reflejado en los valores de potencial hídrico (Ψ) observados en la tabla 3 (pág. 114).

La condición favorable del estado hídrico, a través de la aplicación de biosólidos, tiene implicancias, no tan solo hídricas, sino también para el crecimiento. Se menciona que la disminución de la turgencia celular, ocasionada por el déficit de agua, se traduce en una serie de respuestas fisiológicas, entre las que se encuentran la paralización del crecimiento celular (33).

A medida que el estrés se intensifica, la expansión foliar, el desarrollo de nueva cubierta vegetal y la interceptación de radiación, se ven afectados negativamente.

A partir de esta información es posible anticipar que las posibilidades de sobrevivencia de la plantación serán mayores en T50, en plantaciones a partir de plantas generadas por semillas (Predio Patagual), en especial bajo condiciones de restricción hídrica severa, como se observó en la medición estival del año 2008. Se destaca la importancia que tiene la aplicación con biosólidos, ya que, como lo establecen los datos del ensayo, influyen positivamente en las condiciones hídricas de los árboles, favoreciendo el desarrollo y productividad de los individuos (20, 29). Donoso y Ruiz (2001), afirman que en climas mediterráneos el agua es uno de los factores que más afecta en la productividad de los bosques.

Además, agregan que la altura, el diámetro y, por ende, el área basal, se ven afectados por la cantidad de agua disponible en el suelo. Por ello, es esperable que las plantaciones fertilizadas con biosólidos comiencen a expresar en crecimiento la mejor condición hídrica por sobre las plantaciones testigo (10).

Estado nutricional foliar

No se observó diferencias nutricionales significativas entre los tratamientos en los dos predios, para cada año evaluado (tablas 5 y 6).

Tabla 5. Valores medios de concentración de nutrientes en las hojas, en los años 2007 y 2008, para cada tratamiento de aplicación de biosólidos, en plantación de Patagual.

Table 5. Average nutrient concentrations of leaves in Patagual plantation for each treatment of biosolids application, in years 2007 and 2008.

Nutrientes	2007*			2008		
	T0	T30	T50	T0	T30	T50
N (%)	1,21 Aa	1,15 Aa	1,22 Aa	1,20 Aa	1,21 Aa	1,12 Aa
P (%)	0,07 Aa	0,07 Aa	0,08 Aa	0,05 Aa	0,06 Aa	0,05 Aa
K (%)	0,75 Ab	0,50 Aa	0,65 Aab	0,53 Aa	0,78 Aa	0,54 Aa
Ca (%)	1,01 Aa	1,43 Aa	1,25 Aa	1,68 Aa	1,49 Aa	1,28 Aa
Mg (%)	0,11 Aa	0,15 Aa	0,17 Aa	0,18 Aa	0,18 Aa	0,17 Aa
Zn (ppm)	11,00 Aa	11,00 Aa	11,00 Aa	13,00 Aab	13,67 Ab	10,33 Aa
Mn (ppm)	1293,3 Aa	1593,3 Aa	1403,3 Aa	1935 Aa	1491,6 Aa	1723,3 Aa
Cu (ppm)	5,00 Aa	5,00 Aa	5,66 Aa	5,33 Aa	4,67 Aa	4,67 Aa

Letras mayúsculas distintas indican diferencia significativa ($\alpha=0,05$) entre los años y letras minúsculas distintas indican diferencia significativa ($\alpha=0,05$), entre los tratamientos de un mismo año. (*) Para el año 2007, las muestras fueron tomadas antes de la fertilización, quedando como condición inicial para cada tratamiento.

Different uppercase letters indicate significant difference ($\alpha = 0.05$) among years and different lowercase letters indicate significant difference ($\alpha = 0.05$) among treatments of the same year. (*) For 2007, samples were measures before of fertilization, being a initial condition for each treatment.

Tabla 6. Valores medios de concentración de nutrientes en las hojas, en los años 2007 y 2008, para cada tratamiento de aplicación de biosólidos, en el predio Peñuelas.

Table 6. Average nutrient concentrations of leaves in Peñuelas plantation for each treatment of biosolids application, in years 2007 and 2008.

Nutrientes	2007*			2008		
	T0	T30	T50	T0	T30	T50
N (%)	1,02 Aa	1,06 Aa	1,16 Aa	1,33 Aa	1,51 Aa	1,36 Aa
P (%)	0,09 Aa	0,09 Aa	0,09 Aa	0,09 Aa	0,08 Aa	0,08 Aa
K (%)	0,87 Aa	0,91 Aa	0,90 Aa	0,69 Aa	0,67 Aa	0,63 Aa
Ca (%)	1,59 Aa	1,75 Aa	2,00 Aa	1,65 Aa	1,14 Aa	1,20 Aa
Mg (%)	0,26 Aa	0,25 Aa	0,25 Aa	0,21 Aa	0,20 Aa	0,22 Aa
Zn (ppm)	14,3 Aa	11,3 Aa	11,0 Aa	15,0 Aa	17,7 Aa	16,3 Aa
Mn (ppm)	1513,3 Aa	1810,0 Aa	1723,3 Aa	2286,7 Aa	1648,3 Aa	1620,0 Aa
Cu (ppm)	5,7 Aa	6,0 Aa	5,7 Aa	5,7 Aa	6,0 Aa	5,0 Aa

Letras mayúsculas distintas indican diferencia significativa ($\alpha = 0,05$) entre los años. Letras minúsculas distintas indican diferencia significativa ($\alpha=0,05$), entre los tratamientos de un mismo año. *Para el año 2007 las muestras fueron tomadas antes de la fertilización, quedando como condición inicial para cada tratamiento.

Different uppercase letters indicate significant difference ($\alpha = 0.05$) among years. Different lowercase letters indicate significant difference ($\alpha = 0.05$) among treatments of the same year. * For 2007 samples were measures before of fertilization, being a initial condition for each treatment.

De igual forma, no se registraron diferencias nutricionales significativas entre las dos evaluaciones, año 2007 previo a la aplicación y año 2008 (un año después de la aplicación) (tablas 5 y 6, pág. 116).

Los resultados obtenidos concuerdan con Valdecantos (2001), el cual señala que en plantaciones de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* L. fertilizadas con biosólidos, luego de 12 meses, no se obtiene efecto en las concentraciones de nutrientes (36).

De igual forma, un estudio de los efectos del compost de biosólidos sobre la recuperación de un bosque quemado de *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser (lenga), no registró aumentos de las concentraciones de nutrientes en la regeneración luego de siete meses de monitoreo. Sin embargo, se registraron aumentos leves en las concentraciones de C, N, K y P en el suelo, concluyendo que en evaluaciones posteriores podría mejorar el estado nutricional de las plantas (37).

CONCLUSIONES

Los biosólidos afectan favorablemente el potencial hídrico (Ψ) y el contenido hídrico relativo (CHR) en individuos que están sometidos a una fuerte restricción hídrica. Esto implica un gran potencial para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales, pues el agua pasará a ser un factor limitante para estas formaciones en el secano interior de Chile central.

Por otra parte, las variables hídricas presentan tiempos de respuesta más rápidos que las variables de crecimiento en plantaciones adultas.

El tiempo de evaluación de los ensayos de fertilización con biosólidos, en las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo, debería ser superior a tres años para analizar la respuesta nutricional y de crecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguas Andinas. 2006. Esparcimiento de biosólidos en plantaciones forestales de la Región Metropolitana de Santiago. Chile. 24 p.
2. Aguilera, S.; Borie, P.; Peirano, P.; Lastra, O. 2005. Aplicación de residuos en suelos: Efectos en el medio ambiente. En: M. Aguilera, M.; Rodríguez, M. (Eds). Desarrollo de prácticas sustentables de reciclaje de biosólidos en plantaciones forestales. Santiago, Chile. 99-112.
3. Antilén, M.; Briceño, M.; Galindo, G.; Escudey, M. 2008. Effect of biosolids on the organic matter content and phosphorus chemical fractionation of heated volcanic Chilean soils. *SoilResearch*. 46(5): 415-422.
4. Arata, P. 2005. Gestión de biosólidos realizada por cinco años en el ámbito del recurso benéfico en Santiago, Chile. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14448/13784> (fecha de consulta: 23/06/2013).
5. Basil, G.; Mazzarino, M. J.; Roselli, L.; Letourneau, F. 2009. Efecto del compost de biosólidos en la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (ciprés De la cordillera). *Rev. Ciencia del Suelo*. Argentina. 27(1): 49-55.
6. 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.
7. Castro, C. P.; Henríquez, O.; Freres, R. 2007. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Rev. de geografía Norte Grande*. Chile. 37: 35-45.

8. Dickens, E. 2002. Effect of a one-time biosolids application in and old-field loblolly pine plantation on diameter distributions, volume per acre, and Value per Acre. Gen. Tech. Rep. SRS-48. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: 15-19.
9. Dirección Meteorológica de Chile (DMC). 2013. Dirección General de Aeronáutica Civil. Región Metropolitana, Chile. Disponible en: <http://www.meteochile.cl> (fecha de consulta: 06/09/2013).
10. Donoso, S.; Ruiz, F. 2001. Potencial hídrico y crecimiento de *Eucalyptus globulus* plantado a diferentes espaciamientos en la Provincia de Huelva, España. Rev. Bosque. Chile. 22 (1): 37-44.
11. Donoso, S.; Peña-Rojas, K.; Pacheco, C.; Durán, S.; Santelices, R.; Mascaró, C. 2015. The physiological and growth response of *Acacia caven* under waterstress and the application of different levels of biosólidos. Ciencia e Investigación Agraria. 42(2): 273-283.
12. Environmental Protection Agency. 2000. Folleto informativo de tecnología de biosólidos: Aplicación de biosólidos al terreno. EPA 832-F-00-064. United States Environmental Protection Agency. Office of Water Washington, D. C. 13 p.
13. Erazo, A. 2007. Opciones de uso y disposición de biosólidos en la región Metropolitana. Tesis de grado en Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 79 p.
14. Fleck, I.; Peña-Rojas, K.; Aranda, X. 2010. Mesophyll conductance to CO₂ and leaf morphological characteristics under drought stress during *Quercus ilex* L. resprouting. Annals of Forest Science. 67(3): 308.
15. Fuentes, D.; Disante, K.; Valdecantos, A.; Cortina, J.; Vallejo, R. 2007. Response of *Pinus halepensis* Mill. seedlings to biosolids enriched with Cu, Ni and Zn in three Mediterranean forest soils. Environmental Pollution. 145: 316-323.
16. Fuentes, D.; Valdecantos, A.; Cortina, J. 2008. Evaluación a medio plazo de la aplicación de biosólidos en repoblaciones forestales de *Pinus halepensis*. Sociedad Española de Ciencias Forestales. 28: 75-80.
17. González, S. 2005. Tratamiento, Producción y gestión de lodos en plantas de tratamiento de Aguas Andinas. En: Seminario: Uso benéfico de lodos. Proyecto: Valorización de lodos como fertilizantes. 10-11 de Agosto de 2004. Serie Actas INIA. 27: (19-27). Santiago, Chile. 208 p.
18. Guerrero, M. 2005. Evaluación del contenido de nutrientes y contaminantes en suelos y suelos adicionados de biosólidos y compost. Tesis de grado en Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 70 p.
19. Henry, C.; Cole, D. 1997. Use of biosolids in the forest: Technology, economics and regulations. Biomass and Bioenergy. 13(4-5): 269-277.
20. Houghton, J. 1997. 3° ed. Global Warming: The complete briefing. Cambridge University. Press, Cambridge. 251 p.
21. Kimberley, M.; Wang, H.; Wilks, P.; Fisher, C.; Magesan, G. 2004. Economic analysis of growth response from a pine plantation forest applied with biosólidos. Forest Ecology and Management. 189(1-3): 345-351.
22. McCreary, D. 2004. Managing and restoring California's oak woodlands. Natural Areas Journal. 24(3): 269-275.
23. Meyer, V.; Redente, E.; Barbarick, K.; Brobst, R.; Paschke, M.; Miller, A. 2004. Plant and Soil Responses to Biosolids Application following Forest Fire. Ecosystem Restoration. 873-881.
24. Navas, A.; Machín, J.; Navas, B. 1999. Use of biosolids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). BioresourceTechnology. 69: 199-205.
25. Ochoa-Carreño, A.; Barrera-Cataño, J. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales, en la cantera soratama, localidad de Usaquén, Bogotá. Universitas Scientiarum - Edición especial. 12(2): 57-72.
26. Ortiz, M.; Tamariz, J.; Lazcano, M.; Castelán, R. 2013. Evaluación del efecto de los biosólidos sobre el cultivo de la Lechuga (*Lactuca sativa* L.). Rev. AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. 6(1): 100-109.

27. Peña-Rojas, K.; Aranda, J.; Joffre, R.; Fleck, I. 2005. Leaf morphology, photochemistry and water status changes in resprouting *Quercus ilex* during drought. *Functional Plant Biology*. 32(2): 117-130.
28. Pritchard, D.; Penney, N.; McLaughlin, M.; Rigby, H.; Schwarz, K. 2010. Land application of sewage sludge (biosolids) in Australia: risks to the environment and food crops. *Water Science and Technology-WST*. 62(1): 48-57.
29. Quick, W.; Chaves, M.; Wendler, R.; David, M.; Rodrigues, M.; Passaharinho, J.; Pereira, J.; Adcock, M.; Leegood, R.; Stitt, M. 1992. The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. *Plant, Cell and Environment*. 15: 25-36.
30. Ramírez, R.; Velásquez, D.; Acosta, E. 2007. Efecto de la Aplicación de biosólidos en el crecimiento de *Jacarandá mimosifolia* (Gualanday) y en las condiciones físicas y químicas de un suelo degradado. *Rev. Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 60(1): 3751-3770.
31. Rodríguez, M.; Hernández, J.; Corvalán, P.; Grez, I. 2005. Seguimiento de la aplicación de biosólidos en ensayo sobre plantaciones. En: Aguilera, M.; Rodríguez, M. (Eds). *Desarrollo de prácticas sustentables de reciclaje de biosólidos en plantaciones forestales*. Santiago, Chile. 127-138.
32. Santander, G. 2005. Efecto de la aplicación de residuos sólidos de alto impacto en la actividad biológica de suelos de uso forestal. Tesis de grado en Bioquímica. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 53 p.
33. Santiveri, F. 1992. Influencia del hábito de crecimiento sobre el comportamiento agronómico y fisiológico del *Triticale hexaploide* (Xtriticosecale, Wittmack). Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de Lérida. Lérida, España. 95 p.
34. Silva-Leal, J.; Bedoya, D.; Torres-Lozada, P. 2013. Evaluación del potencial de aplicación de biosólidos higienizados en el cultivo de rábano. *Acta Agronómica*. 62(2): 155-164.
35. Toro, F. 2005. Áreas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales de la VI Región de Chile. Tesis de grado en Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 65 p.
36. Valdecantos, A. 2001. Aplicación de fertilizantes orgánicos en la repoblación de zonas forestales degradadas de la comunidad valenciana. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Alicante, España. 202 p.
37. Varela, S.; Gobbi, M.; Laos, F. 2006. Banco de semillas de un bosque quemado de *Nothofagus pumilio*: Efecto de la aplicación de compost de biosólidos. *Rev. Ecología Austral*. Argentina. 16(1): 63-78.
38. Wang, H.; Kimberley, M.; Magesan, G.; McKinley, R.; Lee, J.; Layery, J.; Hodgkiss, P.; Payn, T.; Wilks, P.; Fisher, C.; McConchie, D. 2006. Midrotation effects of biosolids application on tree growth and wood properties in a *Pinus radiata* plantation. *Canadian Journal of Forest Research*. 36(8): 1921-1930.
39. White, C.; Loftin, S.; Aguilar, R. 1997. Application of biosolids to degraded semiarid rangeland: nine-year responses. *Journal of Environmental Quality*. 26(6): 1663-1671.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó con el apoyo la empresa Aguas Andinas y del Programa de Bosques Mediterráneos, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. Se agradece especialmente a los estudiantes que colaboraron en el proceso de toma de muestras y procesamiento.

Reparto regional en España de la ayuda agrícola según la Organización Mundial de Comercio (2002-2010)

Regional distribution in Spain of the agricultural aid by the World Trade Organization (2002-2010)

Silvia Andrés González-Moralejo, José María García Álvarez-Coque

Originales: *Recepción*: 15/01/2015 - *Aceptación*: 20/10/2015

RESUMEN

La Política Agraria Común (PAC) define, estructura y asigna las subvenciones a la producción agrícola en la Unión Europea. La PAC está condicionada por las directrices de la Organización Mundial de Comercio (OMC), especialmente tras el Acuerdo sobre Agricultura (1994). Este trabajo tiene como objetivo determinar la distribución regional de la ayuda interna que recibe España proveniente de la PAC y su clasificación siguiendo la metodología de la OMC. Se asocia dicha ayuda a los compartimentos de la OMC: cajas verde, azul y ámbar. Se analiza y compara la evolución de los compartimentos, para deducir la situación actual de España y su adecuación a las reglas de la OMC. Los resultados sugieren que España está adaptándose progresivamente a los criterios agrícolas de la OMC, pero a ritmo lento: crece la caja verde y se reduce la azul y ámbar, pero en algunas regiones la caja verde sigue representando solo un pequeño porcentaje del total.

Palabras clave

ayuda interna • compartimentos • Comunidades Autónomas

Grupo de Economía Internacional. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y Medio Natural, edificio 3B, 2^º planta. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia. España.
silangle@upvnet.upv.es

ABSTRACT

The Common Agricultural Policy (CAP) defines, structure and allocates subsidies to agricultural production in the European Union. The CAP is subject to the guidelines of the World Trade Organization (WTO), especially after the Agriculture Agreement (1994). This work aims to determine the regional distribution of domestic support received from the CAP in Spain and their classification according to the methodology of the WTO. Domestic support is associated with WTO compartments: green box, blue and amber. It analyzes and compares the evolution of the boxes, to infer the current situation of Spain and its adaptation to WTO rules. The results suggest that Spain is gradually adapting to the WTO agricultural criteria, but at a slow pace: growing the green box and reduces the blue and amber, but in some regions the green box still represents only a small percentage of the total.

Keywords

domestic support • boxes • Autonomous Communities

INTRODUCCIÓN

La política agraria tiene todavía un amplio recorrido en un mundo en el que los intercambios comerciales tienden a liberalizarse. La cuestión debatida en la Organización Mundial de Comercio (OMC) es si las medidas con efectos de "distorsión del comercio" son necesarias para que el sector alimentario pueda cumplir sus funciones.

Alrededor de esta pregunta no existe consenso universal y ello es reflejado en el tratamiento especial de la agricultura en la OMC, consagrado en el Acuerdo sobre la Agricultura (AsA), actualmente en proceso de reforma. Autores como Rodrik (1997), han manifestado escepticismo hacia las estrategias de crecimiento basadas en una apertura comercial sin políticas. Pero a pesar de la apertura comercial que afecta a la agricultura, la OMC admite un margen de maniobra para la aplicación de medidas de ayuda interna (17), que tendrán una naturaleza crecientemente descentralizada.

Cada país o región diseñará sus programas de asistencia, basados principalmente en criterios de "compartimento o caja verde", es decir, políticas orientadas al territorio, la calidad, la formación, la investigación, la agricultura sostenible y el desarrollo rural. La dificultad para una liberalización del comercio multilateral ha sido asumida en la Cumbre Ministerial de Bali, que refleja por un lado el bloqueo en las negociaciones para la reforma del Acuerdo sobre la Agricultura (7, 23), y por el otro la aceptación de la flexibilidad en las reglas de juego, en el modo en que los países en desarrollo abordarán sus problemas de seguridad alimentaria (15).

España es el segundo receptor de las ayudas de la Política Agrícola Común (PAC). Es evidente que la política agrícola española se ve fuertemente influenciada por las decisiones que orientan el rumbo de la PAC que, en las últimas décadas, ha sufrido cambios sustanciales.

Desde las reformas alentadas por la crisis presupuestaria de los 80 y la presión de las negociaciones multilaterales en la Ronda Uruguay (RU), hasta la entrada en vigor del nuevo régimen de pagos directos de la Reforma 2014-2020, se perfila un cambio de enfoque que invita a abandonar el concepto de apoyo a la agricultura para sumergirse en el de apoyo a la conservación del medio ambiente, el paisaje, la calidad y la cultura, bienes públicos crecientemente valorados por la sociedad europea (5, 22). Cada etapa en la evolución de la PAC ha venido determinada por motivaciones y objetivos distintos, que han transformado la PAC productivista en una PAC orientada al desarrollo rural sostenible y a la seguridad alimentaria (9, 21), sin perder de vista las directrices de la OMC, a las que la PAC continúa adaptándose para hacer posible un nuevo acuerdo (6).

Efectivamente, la OMC lleva una década inmersa en una ronda de negociación, la Ronda Doha (RD), todavía inconclusa. Los temas candentes son muchos. Un detallado análisis de los aspectos más controvertidos de las negociaciones agrícolas se puede encontrar en Martin y Anderson (2008), pero en el área de *ayuda interna*, las negociaciones agrícolas han planteado cuestiones de profundo calado para el modelo europeo de política agraria (14, 18):

- Reducción de la caja ámbar, se discute si se produce como una reducción producto por producto, en vez de plantearla en términos globales.
- Legitimidad de la caja azul, originada en un acuerdo político entre EEUU y la UE, en la RU. Ahora que EEUU ha vaciado de contenido su caja azul, en virtud de las Leyes de 1996 y 2001, puesto que sus pagos desconectados cumplen los

criterios de la caja verde, existe mayor presión para que se elimine la caja azul, cuya única usuaria es la UE. De todas formas, a la vista de las consideraciones sobre ciertas políticas (conectadas con la producción) necesarias para mantener vivo el medio rural, no está tan claro que vaya a desaparecer.

- Definición más estricta de la caja verde. La caja verde ha sido el paradigma de la ayuda exenta de compromisos de reducción, lo que se ha convertido en una recompensa por la capacidad de un gobierno para diseñar políticas conformes a los criterios de la caja verde. No es descartable que se produzca un incremento de los niveles de apoyo a través de instrumentos compatibles con los actuales criterios "verdes".

Una cuestión adicional es si deberían establecerse límites cuantitativos a las subvenciones concedidas en virtud de los programas de la caja verde, porque es preciso reconocer que la caja verde actual contiene una serie de medidas que, aun siendo menos distorsionadoras, siguen favoreciendo la expansión del producto final. Parte de la discusión internacional en los próximos años se centrará en asegurar que la caja verde sea realmente "verde".

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la distribución regional de la ayuda interna que recibe España proveniente de la PAC y su clasificación siguiendo la metodología que propone la OMC, durante el período 2002-2010, para dilucidar cómo está repercutiendo en las diferentes Comunidades Autónomas (CCAA) el proceso de adaptación de la PAC a las directrices que emanan de la OMC.

Objetivos

Clasificar y regionalizar las medidas de ayuda interna asociándolas, según sus características, a los compartimentos de la OMC: caja verde, azul y ámbar. Obtener el valor de cada compartimento.

Analizar y comparar la evolución de los compartimentos, a nivel regional y comunitario.

Este trabajo contribuye significativamente, derivándose de él importantes implicaciones para académicos y responsables de la toma de decisiones. En el momento de redactar estas páginas, el Comité de Agricultura de la OMC trabaja en un proyecto de texto sobre "modalidades" (establecen las líneas generales, tales como fórmulas o enfoques para las reducciones arancelarias, de los compromisos definitivos), donde se establece el nivel de base para las reducciones de la ayuda interna causante de distorsión del comercio (AGDC*), la fórmula estratificada para su reducción y el plazo para su aplicación, el límite global y por productos específicos del compartimento azul, así como las modificaciones en los criterios generales del compartimento verde. Aquí es donde radica la justificación básica de este trabajo, que pretende mostrar el impacto en las CCAA del proceso de adaptación de la PAC a los compromisos acordados en la OMC y establecer el punto de partida en España ante las negociaciones en la RD; negociaciones recientemente impulsadas

tras la conclusión de la 9ª Conferencia Ministerial de Bali, que ha reafirmado el papel de la OMC y su sistema de comercio multilateral. Las decisiones adoptadas en el "Paquete de Bali" son un estímulo para concluir la RD (15). La parte del paquete más importante para el comercio mundial es la relativa a la facilitación del comercio, que trata de la reducción de los trámites burocráticos y la aceleración del despacho de aduana. El resto se centra en cuestiones relacionadas con el desarrollo, incluida la seguridad alimentaria en los países en desarrollo y el algodón y otras disposiciones para los países menos adelantados. El paquete incluye también el compromiso político de reducir las subvenciones a la exportación en la agricultura y de mantenerlas en niveles bajos, así como de reducir los obstáculos al comercio cuando los productos agropecuarios se importan en el marco de contingentes.

Como antecedentes relativos a la estimación del apoyo a la agricultura a escala regional se puede citar los trabajos emprendidos por la Comisión Europea tras las reformas de los 90, con resultados para 1994 y 1996 (10) y para 1991 y 1995 (32). Estos trabajos utilizan el concepto de Estimación del Apoyo al Productor (Producer Support Estimate) introducido por la OCDE como también lo hace el artículo de Zanias (2002), orientado al cálculo de las transferencias

* AGDC: es el nuevo concepto que se ha acuñado en las negociaciones de la RD. La "AGDC de base" es, para los países desarrollados Miembros, la suma de la MGA Total Final Consolidada, más el 10 por ciento del promedio del valor total de la producción agrícola en el período de base 1995-2000, más el promedio de los pagos del compartimento azul, tal como se ha notificado al Comité de Agricultura, o el 5 por ciento del promedio del valor total de la producción agrícola, si este fuera más alto, en el período de base 1995-2000.

al nivel de Estado miembro. Más recientemente, el proyecto "European Spatial Planning Observation Network" analizó los impactos territoriales de la PAC para 1999, aunque solo tiene en cuenta productos continentales y el cálculo de las transferencias del "primer pilar" de la PAC (ayudas a precios y mercados). Otros estudios han analizado las transferencias en países con organización administrativa federal, como son los casos de Suiza (33), Alemania (2, 13) y Estados Unidos (30).

En España, un primer antecedente del estudio del gasto público en las agriculturas de las CCAA fue realizado en García *et al.* (1994). Otro antecedente, ya posterior, es el esfuerzo realizado para la elaboración del Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural elaborado por el denominado en aquel entonces Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (19). Los resultados de estos estudios han permitido realizar análisis sobre la repercusión de los apoyos públicos de las distintas administraciones en las agriculturas regionales españolas, como es el caso de los efectos de la reforma de la PAC y la Ampliación (8).

El interés en España por la formulación de un modelo para el seguimiento y la evaluación del apoyo a la agricultura ha suscitado el desarrollo de una línea de investigación que se origina en los aportes metodológicos planteados por la OCDE. La principal aportación de esta línea de investigación (3, 4) es un ejercicio de adaptación de la metodología de la OCDE, ofreciendo una estimación regionalizada del apoyo derivado de la ejecución de la PAC en España para el período 2002-2009. Las contribuciones más valiosas contenidas en esta línea de investigación radican en la inclusión de las transferencias financiadas con fondos propios (estatales y autonómicas), y en la evidencia de sistemas regionales que

se adaptan al proceso de reforma de la política agraria a distintos ritmos y velocidades, y se comparan con la evolución seguida por otros países de la OCDE.

La preocupación por esclarecer el impacto de los acuerdos de la OMC sobre las políticas agrarias de las distintas regiones del mundo ha suscitado el desarrollo de dos interesantes líneas de investigación, que abordan la situación de países desarrollados y en desarrollo.

La mayoría de las aportaciones son simulaciones del impacto de los acuerdos y el análisis de sus efectos sobre los intercambios comerciales. En este marco, una de las contribuciones más novedosas es el trabajo de Swinnen *et al.* (2012), que estima *ex post* cuál ha sido el impacto de la OMC sobre las políticas agrícolas del mundo, incluyendo las transferencias totales y los instrumentos utilizados. Su análisis empírico demuestra que la OMC no ha causado una reducción significativa en la ayuda a la agricultura, sino que ha provocado un giro hacia instrumentos de carácter menos distorsionador. A nivel regional, se pueden destacar los recientes estudios de Zou y Wang (2011), quienes han examinado los efectos de los pagos directos del gobierno estadounidense sobre su nivel de producción y de exportaciones agrícolas, y de Jia *et al.* (2011), que han valorado cuáles son las medidas de apoyo agrícola que, siendo consistentes con la OMC, son también adecuadas para su implementación dadas las condiciones de la agricultura y a la economía chinas.

Por otro lado, ya forman parte de la literatura académica estudios que analizan *ex ante* el impacto de un posible acuerdo en la RD. En este ámbito, Blandford *et al.* (2010), han demostrado que Noruega, con un complejo entramado de subsidios agrícolas, podrá mantener su actual nivel de producción, aunque deberá desmantelar su sistema de apoyo al precio de

mercado pagado por los consumidores, como principal adaptación a las nuevas normas de la OMC. Nuetah *et al.* (2011), analizan cómo se verá afectado el bienestar de África occidental con la desaparición de los subsidios a las exportaciones y la reducción de la ayuda interna en los países proteccionistas. Sus resultados indican que aunque los precios mundiales de los productos exportables de la región experimentarán un descenso, los precios de sus productos importados subirán, de manera que las ganancias de los productores resultarán insuficientes para compensar las pérdidas de los consumidores. En esta línea, otros estudios prevén que los países en desarrollo como Brasil, China e India, y los países desarrollados disfrutarán de ganancias netas de bienestar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo estima la distribución de los compartimentos ámbar, azul y verde en las CCAA de España. Los documentos al Comité de Agricultura de la OMC con referencia G/AG/N/EU reflejan el contenido de los compartimentos ámbar, azul y verde notificados por la UE a la OMC (disponible en http://www.wto.org/spanish/tratop_s/agric_s/ag_work_s.htm).

Los compartimentos a escala regional deben ser conceptualmente coherentes con la notificación comunitaria al organismo internacional. Por tanto, no se ha incorporado en la estimación regional de los compartimentos aquellos elementos ajenos a los que la UE notifica. Por otro lado, se han separado aquellas medidas que comportan desembolsos presupuestarios, buena parte de ellos pagos directos a los productores, de las vinculadas a programas de sostenimiento de precios, las cuales no necesariamente se materializan en gasto público, sino también

en protección en frontera. Las medidas que suponen gasto público o pagos directos son fácilmente calculables a nivel regional y, de hecho, existe información suficiente de este tipo de desembolsos para las CCAA. Sin embargo, los componentes de la caja ámbar ligados a programas de sostenimiento de precios no tienen reflejo en un desembolso directo. Se describe cómo se han estimado los compartimentos de la RU, tomando como referencia los conceptos notificados por la UE.

La caja azul se ha estimado a partir de información financiera directa contenida en los Informes de Actividad del Fondo Español de Garantía Agrícola (FEGA), del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, donde se recogen todas las transferencias del FEOGA-Garantía (2002-2006) y del FEAGA (2007-2010) a las CCAA. Concretamente, se han contabilizado para la caja azul las transferencias derivadas de los pagos directos que están exentos de compromisos de reducción. Estos pagos incluyen los pagos a cultivos COP, al arroz, a la puesta de tierras en *set-aside*, así como las primas a bovino y ovino.

La caja ámbar solo incluye algunos pagos directos, obtenibles a partir de la información financiera de los pagos del FEOGA-Garantía (2002-2006) y FEAGA (2007-2010) a las CCAA, entre los que destacan los pagos a la producción de forrajes, legumbres secas, lino y cáñamo, tabaco, algodón y a la producción de semillas, y medidas vinculadas con programas de sostenimiento de precios. Para la regionalización de este componente se ha obtenido el gasto total en sostenimiento de precios de la UE para cada año del período estudiado a partir de las notificaciones anuales sobre agricultura de la delegación de la UE a la OMC, extraídas de la web de la OMC.

Se ha tomado como coeficientes de distribución regional los correspondientes a la participación de cada región española en la producción final de la UE.

En cuanto a la caja verde, que incluye básicamente el gasto público derivado del "segundo pilar" de la PAC y de las políticas de desarrollo rural, se ha utilizado información financiera correspondiente a los pagos del FEOGA-Garantía y FEOGA-Orientación (cofinanciación nacional no incluida) en las CCAA (2002-2006) e información suministrada por los Programas de Desarrollo Rural financiados por el FEADER (cofinanciación nacional no incluida) para cada CA (2007-2010). Se pone a disposición del lector un listado de las medidas de política agraria de la PAC en España computadas en este trabajo, y su clasificación según la metodología de la OMC, incluyendo el subsector y la región a la que corresponden, así como el montante total por caja y región.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Caja Verde

La tabla 1 (pág. 128) muestra el montante total anual por región del compartimento verde, de donde se puede derivar su valor medio, el porcentaje que representa cada región sobre la media y la variación porcentual entre 2002 y 2010. Así, de la tabla 1 (pág. 128), se desprende que, como media, el total español para cada año del período asciende a casi 3.850 millones de euros. Las CCAA que más contribuyen son: Andalucía, que supera los 1.000 millones, Castilla y León con 571 y Castilla-La Mancha con 498. Por el contrario, entre las autonomías que perciben menor cuantía de ayuda clasificable como caja verde destacan Madrid y Cantabria con 35 millones, La Rioja con 32

y Baleares con 22. Se aprecia la existencia de diferencias cuantitativas entre las CCAA con mayor caja verde, destacando Andalucía que aporta más de la cuarta parte del total, y las que menos, donde sobresale las Islas Baleares que no alcanza el 1% del total.

Para constatar la tendencia se han agrupado las CCAA en función del valor medio de su caja verde en el período considerado. La figura 1 (pág. 129) ilustra la evolución de la caja verde en cada uno de los grupos. A partir de esta figura, se constatan dos acontecimientos. Cabe destacar la tendencia ascendente de la caja verde en todas las CCAA a lo largo del período considerado, pero especialmente hay que enfatizar en el hecho de que se produce una "ruptura" con la estabilidad de los años anteriores a 2006, causada por la irrupción de nuevas medidas propiciadas por la Revisión Intermedia de 2003, como el pago único desacoplado de la producción o las relativas al desarrollo rural sostenible, que provocan un trasvase de fondos desde la caja azul a la verde. Posteriormente, la caja verde vuelve a crecer en 2010, cuando nuevas producciones entran a formar parte del pago único.

Es necesario indicar que el cambio de ciclo reflejado a partir del 2006 se produce con retraso en Cataluña, Comunidad Valenciana, Canarias, Madrid y Cantabria, debido a la distinta especialización productiva de estas regiones, por ejemplo más orientada a la producción hortofrutícola en las regiones mediterráneas, por lo que no se verán afectadas por el pago único hasta unos años después.

De regreso a la tabla 1 (pág. 128), se enfoca la atención en otro de los elementos a considerar en el análisis: la variación porcentual que ha experimentado la caja verde de cada una de las autonomías.

Tabla 1. Las cajas verde, azul y ámbar en cifras (millones de euros corrientes).
Table 1. The green box, blue and amber in figures (million current euros).

	Caja verde						Caja azul						Caja ámbar					
	2002	2004	2006	2008	2010		2002	2004	2006	2008	2010		2002	2004	2006	2008	2010	
CCAA	408,13	399,30	1161,28	1660,89	2092,61		520,33	570,64	356,34	327,58	392,13		1501,81	1305,43	406,49	139,32	86,44	
Andalucía	173,42	173,34	429,00	342,26	358,46		351,33	377,21	162,29	129,26	112,45		146,61	134,95	105,58	53,63	49,18	
Aragón	78,08	78,11	97,33	79,44	81,81		35,14	45,47	37,22	22,89	25,72		40,83	26,01	23,13	8,62	7,34	
Asturias, P. de	23,18	22,30	33,51	18,17	17,99		18,93	25,06	15,33	9,18	9,92		69,87	41,01	37,69	15,02	13,31	
Baleares, Islas	192,03	206,16	148,24	209,94	221,08		1,33	6,23	0,09	0,00	0,00		126,80	74,34	68,24	27,05	24,09	
Canarias	33,06	33,05	33,05	31,20	60,18		20,65	30,13	24,32	13,64	13,82		83,05	48,88	44,50	17,51	15,59	
Cantabria	327,28	347,93	674,29	622,27	745,06		491,41	547,48	157,26	150,24	165,94		658,82	517,74	449,18	254,60	195,20	
Castilla-La Mancha	373,31	369,20	882,32	688,13	794,62		830,76	860,39	400,42	269,55	276,08		645,05	390,05	355,07	154,66	139,37	
Castilla y León	164,85	165,00	162,40	240,22	338,37		172,05	214,58	116,67	71,52	71,69		138,51	127,45	106,56	46,96	29,52	
Cataluña	146,10	139,79	157,81	147,12	183,84		28,85	28,60	34,45	26,53	32,90		818,43	509,77	460,44	218,34	148,92	
Comunidad Valenciana	180,90	174,16	350,76	403,16	450,41		336,57	368,85	227,00	162,54	166,04		256,64	244,44	174,11	106,62	107,55	
Extremadura	224,52	224,34	309,34	210,32	245,07		88,31	112,27	84,23	47,33	46,18		558,83	333,66	300,48	116,86	104,10	
Galicia	36,88	35,91	35,33	29,24	55,59		34,31	13,97	33,73	12,34	15,93		430,50	255,60	230,88	91,14	81,57	
Madrid, Com. de	79,01	81,98	107,40	75,97	111,32		42,71	51,34	37,46	20,67	21,28		304,24	186,95	175,40	82,76	64,26	
Murcia, R. de	53,75	52,90	110,33	77,95	95,36		78,88	87,94	36,81	27,44	28,79		319,44	193,62	183,55	73,86	65,46	
Navarra, C.F. de	36,89	36,27	41,84	36,35	39,77		40,41	40,54	19,78	16,10	16,93		1475,12	864,92	793,72	314,66	280,31	
País Vasco	29,06	29,84	38,30	29,76	31,12		23,30	31,38	19,15	8,39	8,73		110,98	66,86	61,72	25,52	22,49	
La Rioja	2560,47	2569,58	4772,53	4902,38	5922,65		3115,28	3412,09	1762,54	1315,19	1404,53		7685,52	5321,67	3976,74	1747,12	1434,71	
Total																		

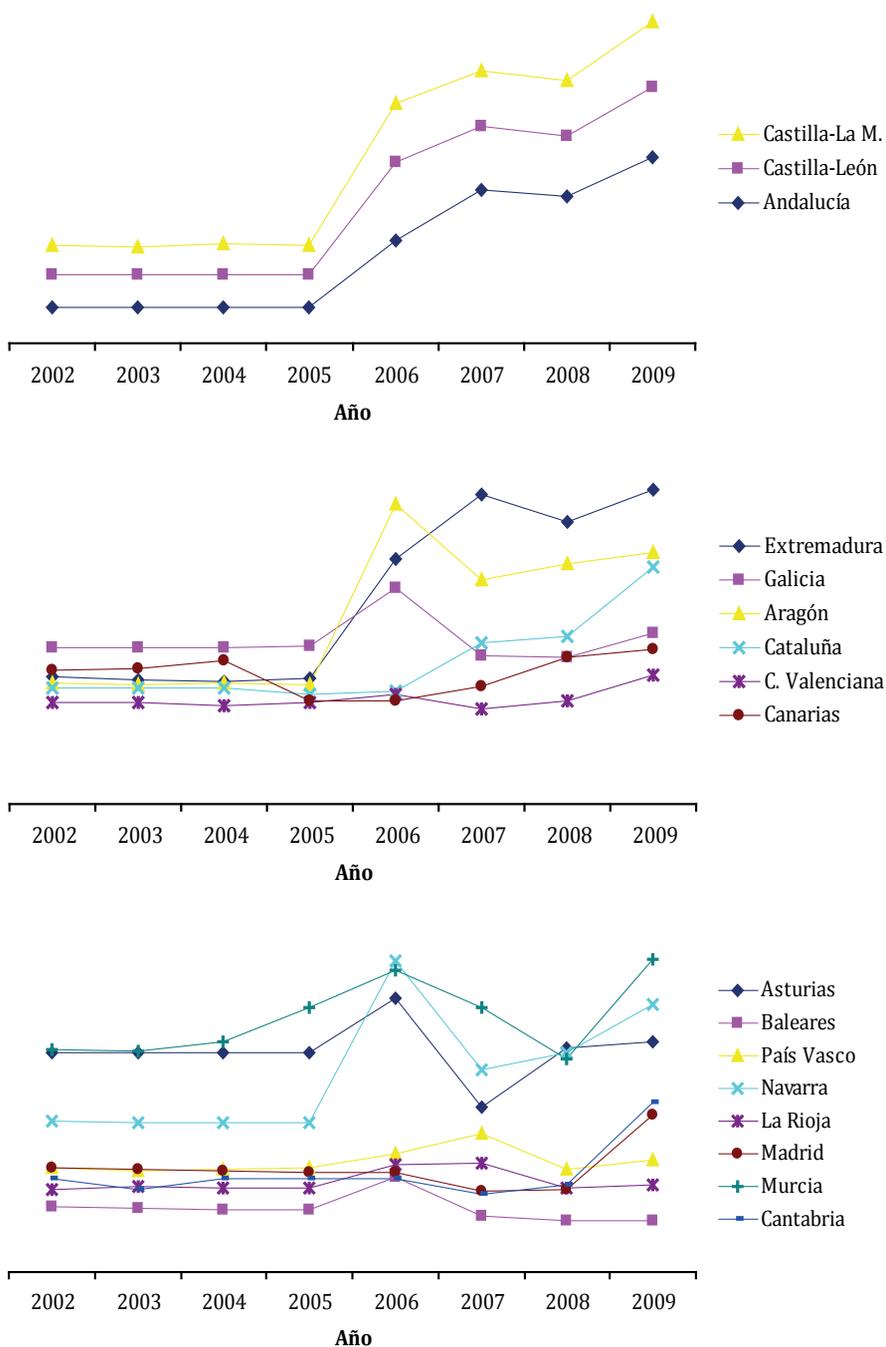


Figura 1. Tendencia de la caja verde en cada región (2002-2010).

Figure 1. Green box trend in each region (2002-2010).

En este sentido es amplio el abanico de valores hallado.

En primer lugar, destacan autonomías con una variación superior al 100%. Entre ellas sobresale Andalucía, cuya caja verde ha crecido un 413%, seguida por Extremadura con un 149%, Castilla-La Mancha 128%, Castilla-León 113%, Aragón 107% y Cataluña 105%. A continuación aparecen Cantabria y Navarra, que han engrosado su caja verde un 82 y 77% respectivamente.

Otros territorios presentan una variación más moderada, son Madrid con un 51%, Murcia 41%, Comunidad Valenciana 26% y Canarias 15%. Finalmente, hay CCAA en las que apenas ha variado la caja verde a lo largo del período (o se ha reducido). Se trata de Galicia con un 9%, País Vasco 8%, La Rioja 7%, Asturias 5% y Baleares -22%.

En general, son autonomías de gran tradición ganadera y reciben importantes cantidades en concepto de ayudas al vacuno, que pertenecen a la caja azul, con lo cual es comprensible que esta última prevalezca.

Según las notificaciones de la UE al Comité de Agricultura de la OMC (Nº Documento 06-5888 G/AG/N/EEC/53 y 12-6332 G/AG/N/EU/10), correspondientes a la campaña de comercialización de los años 2002 y 2010 sobre los compromisos en materia de ayuda interna, el total del compartimento verde en la UE ha pasado de 20.404,3 a 63.798,1 millones de euros, lo que implica que se ha multiplicado por 3 como efecto de la Revisión Intermedia.

El impacto en España ha sido algo más moderado, desde una cifra de 2.560,47 a 5.922,65 millones de euros (tabla 1, pág. 128), de lo que se desprende que la caja verde española pierde peso dentro de la comunitaria en este período, reduciéndose del 12,5% a poco más del 9%.

El análisis de la caja verde no está completo sin las correspondientes ayudas nacionales que la complementan. Las ayudas nacionales se subdividen en tres categorías: ayudas estatales, cuya financiación corresponde al gobierno central, ayudas autonómicas, dependen exclusivamente de los gobiernos de las CCAA, y la cofinanciación de las medidas de desarrollo rural, que se nutre de ambos organismos pagadores en distintos porcentajes según la medida de que se trate.

Las ayudas nacionales se caracterizan porque no incluyen pagos basados en la producción, en el precio y en los medios de producción, y por el importante papel que desempeñan como complemento a la financiación de servicios proporcionados al sector agrícola en general.

El trabajo de Andrés *et al.* (2012) ofrece una regionalización de las ayudas nacionales, con un análisis y valoración de las mismas, e incluye una comparación con la ayuda recibida desde la PAC en el mismo período. Según sus cálculos, las ayudas nacionales suponen una transferencia anual superior a los 1.000 millones de euros (en 2009, final del período objeto de estudio, fue de 1.400 millones), lo que permite obtener una idea más veraz de la relevancia de la caja verde en España.

La Caja Azul

La tabla 1 (pág. 128) ilustra también la evolución de la caja azul en España y sus regiones. Según se desprende de la citada tabla, el total nacional anual supera los 2.350 millones de euros, destacando las divergencias en su distribución espacial. Las autonomías donde se concentra la caja azul son Castilla y León, que aglutina 571 millones de euros, seguida por Andalucía con 455 y Castilla-La Mancha con 329, que suman más de la mitad del total español. Las CCAA donde es menor

este compartimento: La Rioja y Baleares con 17 y 16 millones respectivamente, y Canarias, que con una media anual de 3 millones de euros ya no ha recurrido a este tipo de ayuda en los tres últimos años.

Para constatar la tendencia se han agrupado las CCAA en función del valor medio de su caja azul en el período.

La figura 2 (pág. 132) ilustra la evolución de la caja azul en cada uno de los grupos. La observación de esta figura pone de manifiesto la tendencia descendente en la magnitud del compartimento azul para todas las autonomías a partir del 2006, que contrasta con el crecimiento acumulado en los anteriores años, produciéndose nuevamente una ruptura o "cambio de ciclo". La caída es especialmente intensa en Extremadura, Aragón y Castilla y León. Cabe subrayar que esta tendencia corre paralela, aunque en sentido inverso, a la diagnosticada para la caja verde en el anterior epígrafe. Lógicamente, la caja verde ha ido incrementándose mientras se reducía la caja azul, a medida que los pagos por hectárea y cabeza de ganado han sido sustituidos por el pago único.

Las autonomías que menos aportan al compartimento azul presentan una evolución algo más heterogénea. Resalta el comportamiento de la caja azul de la Comunidad Valenciana, con un pico en 2005, cuando se incrementa de forma repentina la ayuda por superficie de arroz y se introduce la ayuda por superficie a los frutos de cáscara, para luego descender en el año siguiente hasta niveles de 2004. También destaca el errático comportamiento de los datos en la Comunidad de Madrid, con una reducción en 2004 y un pico en 2006 motivados en la sustitución de las ayudas por superficie de cereales y proteaginosas por la ayuda por superficie de cultivos herbáceos, para luego

descender de forma acusada y estabilizarse a partir de 2007.

El análisis de la variación porcentual que ha experimentado la caja azul de cada autonomía pone de relieve que la evolución ha sido más bien homogénea y de signo negativo. Las reducciones de mayor dimensión, en torno al 50% o más, se han producido en Canarias, donde la caja azul ha desaparecido, Aragón, Castilla y León y Castilla-La Mancha, rozando el 70%, Navarra y La Rioja con casi un 65%, Cataluña y País Vasco próximos al 60%, Madrid, Extremadura y Murcia superando el 50% y Galicia y Baleares rozando el 50%. Aunque las medidas de política agraria de caja azul quedaron excepcionalmente permitidas tras la RU, previsiblemente no correrán la misma suerte en la RD, de ahí se deduce que con la Reforma Intermedia de la PAC se esté trasvasando su contenido hacia la verde. Menos significativa es la reducción constatada para Cantabria, Asturias y Andalucía, que oscila entre el 25 y 35%.

Finalmente, se observa un hecho aislado en la Comunidad Valenciana donde la caja azul se ha incrementado un 14%, en una región especializada en productos mediterráneos que poco tienen que ver con los pagos por hectárea y cabeza de ganado.

Según las notificaciones de la UE al Comité de Agricultura de la OMC ya citadas, correspondiente a las campañas de comercialización de 2002 y 2010 sobre los compromisos en materia de ayuda interna, el total del compartimento azul en la UE ha descendido de 24.726,5 a 5.323,6 millones de euros, es decir, casi un 80%. En España su reducción ha sido menor, de un 55% (tabla 1, pág. 128), de lo que se deriva que la caja azul española ha ido ganando peso y ya concentra más del 25% de la comunitaria.

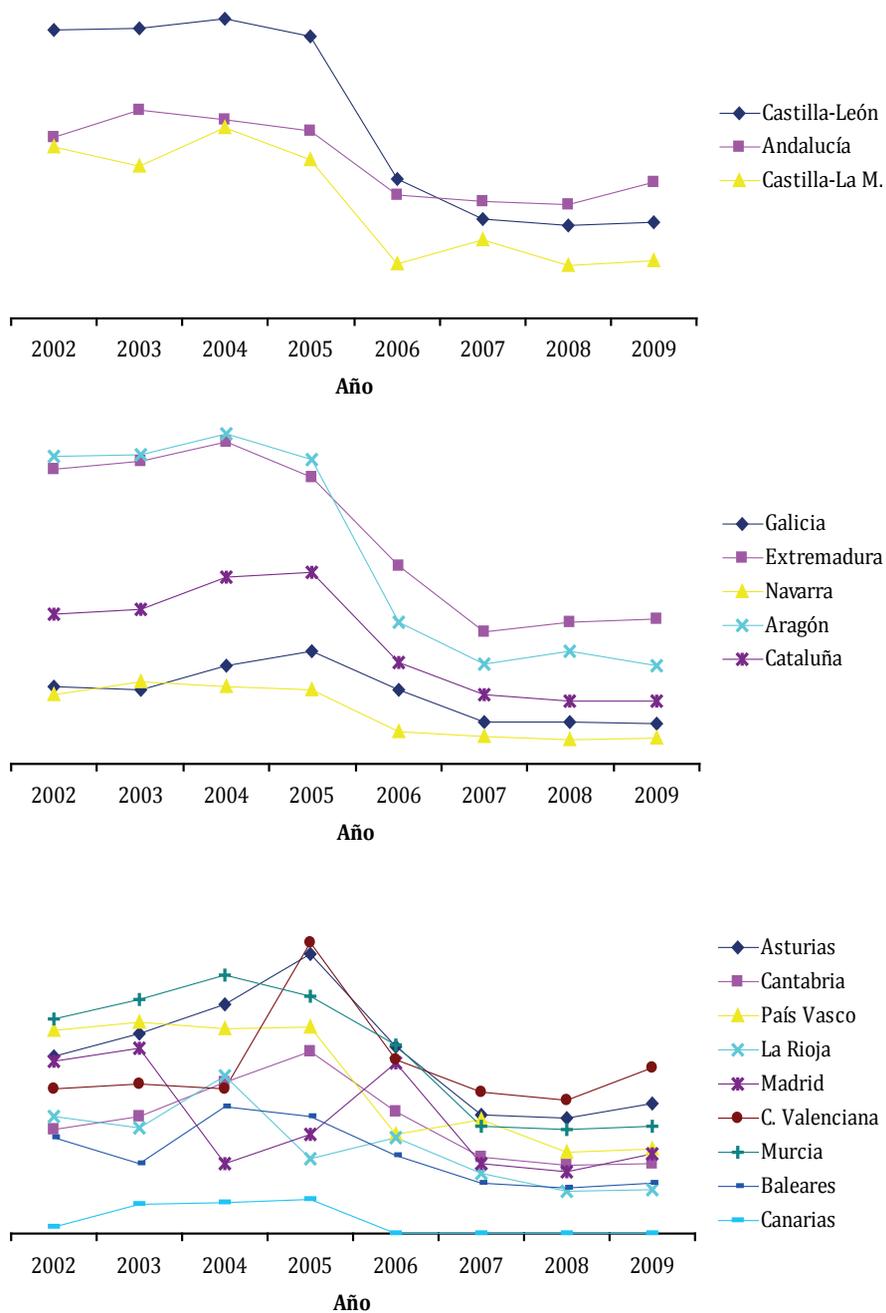


Figura 2. Tendencia de la caja azul en cada región (2002-2010).

Figure 2. Blue box trend in each region (2002-2010).

La Caja Ámbar

Finalmente, la tabla 1 (pág. 128) muestra la cuantía total del compartimento ámbar en el período de referencia, que a nivel nacional supera anualmente los 4.400 millones de euros. Las CCAA que mayor volumen de fondos tienen comprometidos en la caja ámbar son País Vasco, en sostenimiento de precios, y Andalucía con 800 millones de euros anuales; Comunidad Valenciana con 479 y Castilla-La Mancha con 450. En el extremo opuesto se posicionan Cantabria, Baleares y Asturias con 46, 39 y 23 millones respectivamente. La distribución de esta caja está más repartida: no hay concentración tan evidente de las ayudas conectadas en unas pocas CCAA, como sucedía en los casos anteriores.

La figura 3 (pág. 134) revela una nítida tendencia en la caja ámbar para la totalidad de CCAA, propiciada por las reducciones que ha sufrido a medida que desaparecían las ayudas vinculadas con la producción con la Revisión Intermedia y su Chequeo Médico, y por el sostenimiento de precios, menor en un entorno de precios elevados para las materias primas agrícolas. La variación que ha experimentado el compartimento a lo largo del período ha sido significativa en todas las regiones, superior al 50% y en términos negativos.

En la mayor parte de CCAA esta reducción oscila entre el 70 y el 80%. Se deduce de ello que la última reforma de la PAC está logrando la eliminación progresiva de las ayudas englobables en la caja ámbar, posicionando a las CCAA ante la coyuntura internacional que en materia de política agrícola representa actualmente la RD. Cabe señalar el caso de Andalucía, tras una fuerte caída a partir de 2005, su caja ámbar es la menor en 2010.

Según las notificaciones de la UE al Comité de Agricultura de la OMC ya citadas, el total del compartimento ámbar en la UE se ha reducido desde los 28.490,4 millones de euros en 2002 hasta los 8.764 de 2009, es decir, un 70%. Reducción que ha sido todavía mayor en España (tabla 1, pág. 128), lo que permite afirmar que la caja ámbar española ha perdido peso dentro de la comunitaria, pasando de representar un 27% al 16% al final del período.

Comparación intra-regional versus comparación inter-regional

La figura 4 (pág. 135) muestra el porcentaje que representa cada caja sobre la suma total del compartimento. De este modo, permite visualizar comparativamente cuáles son las CCAA que privilegian cada compartimento. Indudablemente será el compartimento verde donde los países gozarán de mayor libertad en su aplicación; prueba de ello es el giro "verde" de la PAC con su Reforma 2014-2020, en busca de una mayor legitimación social y aceptación internacional.

El impacto del proceso de adaptación de la PAC hacia los criterios que emanan de la OMC no ha sido el mismo en todas las CCAA. Se observa en la figura 4 (pág. 135) que en algunas regiones sigue predominando la subvención de la producción, como Madrid, País Vasco, La Rioja, Navarra, Comunidad Valenciana y Murcia, donde la caja verde representa un pequeño porcentaje sobre la ayuda total.

Por otra parte, Canarias, Asturias, Cataluña, Andalucía y Aragón son las autonomías cuya caja verde tiene una mayor presencia en relación con el total, siendo al mismo tiempo su caja ámbar de las más reducidas.

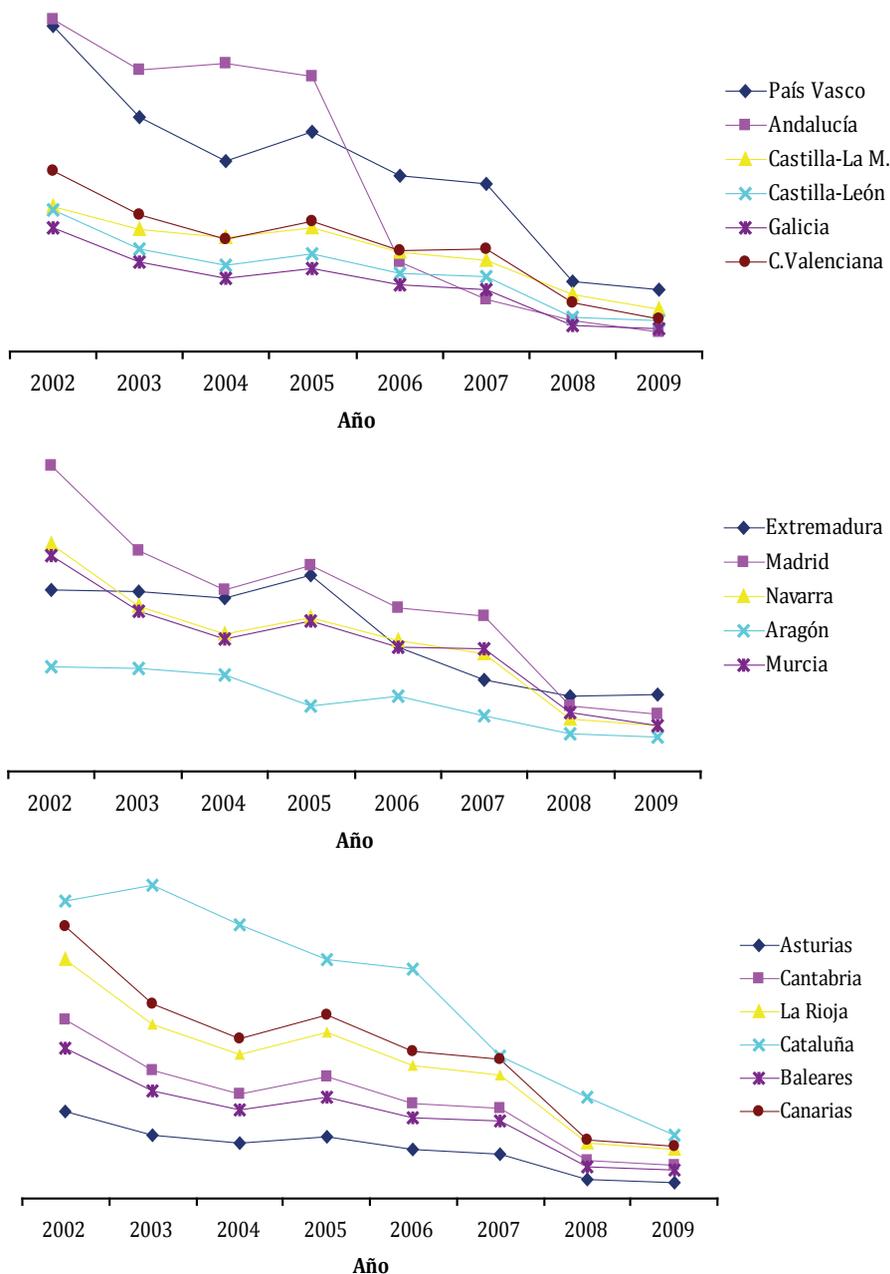


Figura 3. Tendencia de la caja ámbar en cada región (2002-2010).

Figure 3. Amber box trend in each region (2002-2010).

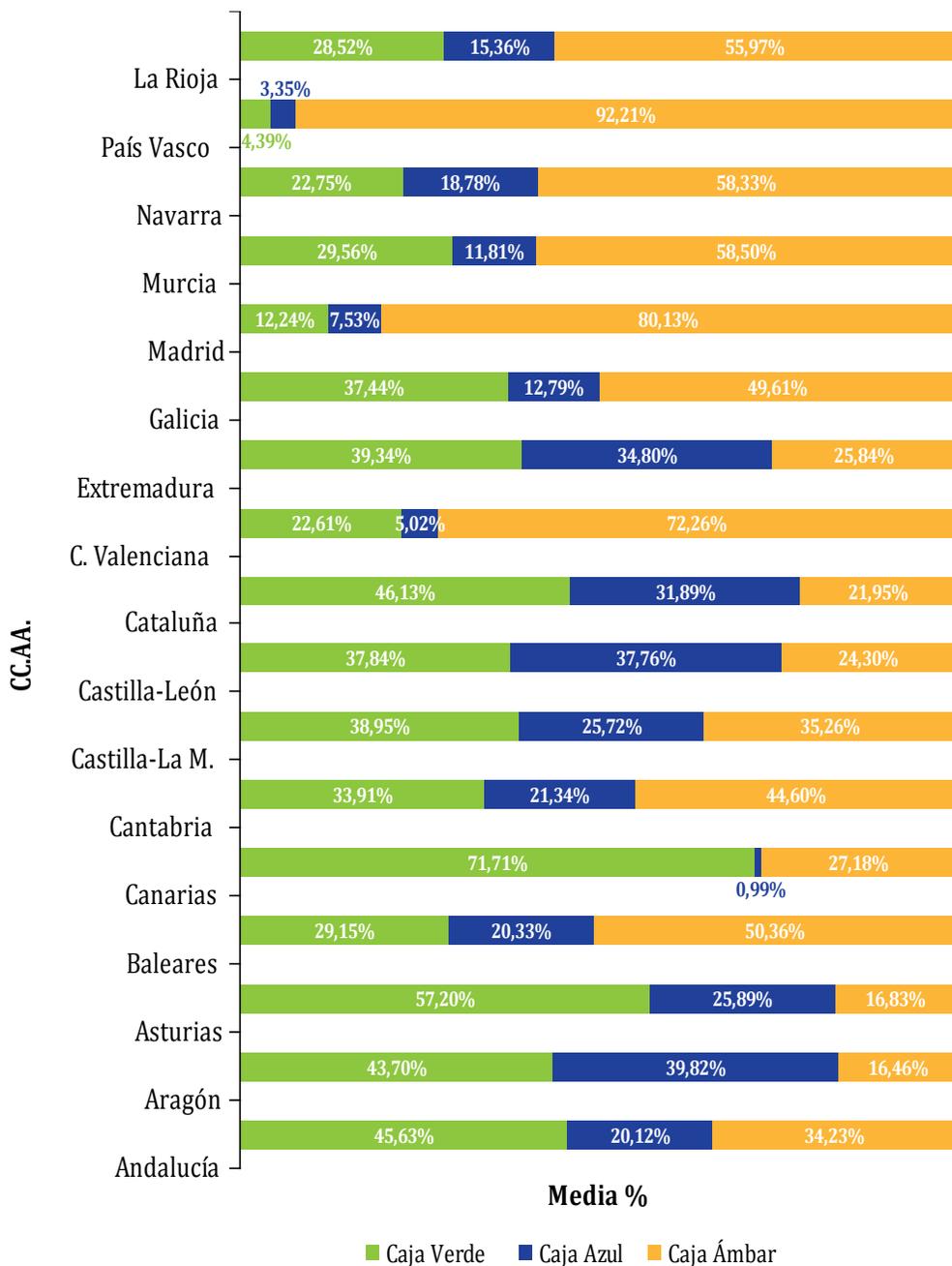


Figura 4. Porcentaje medio de las cajas verde, azul y ámbar por CA (2002-2010).
Figure 4. Average rate boxes green, blue and amber by autonomous community (2002-2010).

CONCLUSIONES

Además de los factores internos que condicionan la evolución de la PAC -los intereses políticos de la integración europea y los equilibrios presupuestarios-, externamente debe encajar, como cualquier otro miembro de la OMC, con los Acuerdos del sistema multilateral de comercio. Desde la Ronda Dillon hasta la RU, la UE ha respondido positivamente a los requerimientos exteriores. A lo largo del actual proceso de negociación en la RD, la UE ha demostrado su compromiso y voluntad de llegar a acuerdos realizando por adelantado reformas de calado en la PAC, que han evitado que sea presentada como la máxima responsable de la falta de acuerdo. Así, la UE ha modificado sus modalidades de ayuda interna -del "ámbar" y "azul" al "verde"-, ha mostrado su disposición a acabar con las restituciones a la exportación y a reducir sustancialmente sus aranceles agrícolas.

La UE se ha preparado para superar la prueba de la RD, a pesar de la ralentización de la dinámica de las negociaciones consagrada tras la cumbre de Bali. Mientras tanto, España percibe un importante flujo de transferencias provenientes de la PAC. La cuantía media anual de las cajas verde, azul y ámbar es de 3850 (36%), 2350 (22%) y 4427 (42%) millones de euros, respectivamente. A primera vista, dichas cifras indican que las transferencias en virtud de la caja ámbar continúan siendo las predominantes. Andalucía, País Vasco y Comunidad Valenciana acumulan la mitad de la caja ámbar total. En el caso andaluz la explicación radica en la importancia de la ayuda a la producción de aceite de oliva hasta 2006, que fue sustituida por el pago único; en País Vasco y Comunidad Valenciana es el sostenimiento de precios, en cereales (incluido el arroz), patatas,

tomates, vino y carnes y sus derivados, el que nutre la caja ámbar. Sin embargo, si se computan también las ayudas nacionales, la caja verde se configura ya como la de mayor contenido en el conjunto del Estado.

Al observar la evolución de la cuantía de las cajas, y verificar la tendencia que han sufrido, se percibe que el impacto de las reformas de la PAC no siempre es el mismo. Sin duda, el sector agrario español es complejo y variado.

La extensión geográfica, la orografía y la presencia de climas marcadamente distintos hacen que las diferencias productivas entre regiones sean más que apreciables, dando lugar a diferentes modelos de agricultura. Por ello no se puede esperar una aplicación homogénea de la PAC, sino más bien una adaptación de sus instrumentos a las necesidades de cada sector y región.

No obstante, también se aprecian ciertas similitudes y es notable la unánime reducción de la caja ámbar a lo largo del período 2002-2010, en torno a un 80%, a medida que la UE desmantela sus mecanismos de ayuda a la producción y a los precios, se destaca el caso paradigmático de Andalucía, donde las ayudas de caja ámbar han pasado de representar 1.500 millones en 2002 a solo 86 en 2010.

La caja azul es la de menor cuantía a escala nacional y, de forma similar a la caja ámbar pero menos intensamente, predomina una tendencia marcada de reducción en casi todas las regiones. Reducción que corre paralela al aumento de la caja verde, a medida que los pagos por hectárea y cabeza de ganado son reemplazados por el pago único.

Solo la Comunidad Valenciana ha aumentado su caja azul, debido al aumento de las ayudas por superficie al arroz y a la irrupción de las ayudas al olivar y a los frutos de cáscara.

Como consecuencia de lo anterior, parece lógico suponer que la caja verde mostrará un aumento en el período considerado. En efecto, casi todas las CCAA muestran un porcentaje de variación positivo aunque, en este caso, más desigual en comparación con la reducción calculada para el resto de cajas, siendo reseñable nuevamente el caso de Andalucía con un crecimiento superior al 400%.

La irrupción de las medidas de pago único y de medio ambiente y desarrollo rural sostenible, a las cuales la OMC no pone límites, ha favorecido el desarrollo de este compartimento.

Únicamente las Islas Baleares muestran una tendencia negativa en su caja verde, propiciada por la drástica reducción de la dotación a los Programas Operativos para zonas de Objetivo 1 y a las medidas de modernización de las explotaciones.

Se puede constatar que, pese a las desigualdades territoriales, a los distintos sectores productivos presentes y al peso que sigue suponiendo el compartimento ámbar en algunas regiones, parece inevitable el cambio de paradigma en la protección de la agricultura.

Las CCAA están experimentando los efectos de un proceso de adaptación de

la PAC a la coyuntura internacional en materia de protección agrícola, marcado por el avance en las negociaciones en el seno de la OMC, que será cada vez más profundo y está orientado a favorecer las medidas medioambientales y de desarrollo rural sostenible que quedan comprendidas en la caja verde. Y es de esperar que continúe en el tiempo, teniendo en cuenta el giro verde que ha dado la PAC con su reforma aprobada para el período 2014-2020, en su búsqueda de una nueva legitimidad, tanto interna como externa, basada en la gestión sostenible de los recursos naturales y el mantenimiento del equilibrio territorial y la diversidad rural, sin olvidar tampoco la seguridad alimentaria en un contexto de inestabilidad y aumento de precios de los productos agrícolas.

Una posible futura línea de investigación sería analizar cómo esta última reforma de la PAC afectará a la configuración del modelo agrícola español y a las ayudas que recibe de la UE.

Si bien la continuación más lógica de este trabajo consiste en el análisis de los distintos escenarios que van a ser planteados por el Comité de Agricultura de la OMC tras la Conferencia Ministerial de Bali y que se plasmarán en un documento de "modalidades", para después valorar, a partir de los resultados obtenidos en este trabajo, los efectos que cada uno implicaría para las distintas regiones españolas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adasme-Berríos, C.; Sánchez, M.; Jara-Rojas, R.; Engler, A.; Rodríguez, M.; Mora, M. 2015. Who are the potential consumers of organic fruits and vegetables in Central Chile? A CHAID approach. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 193-208.
2. Anders, S.; Harche, J.; Herrmann, R.; Salhofer, K. 2004. Regional income effects of producer support under the CAP. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales. Francia.* 73(4): 103-122.

3. Andrés, S.; García, J. M. 2010. Indicadores de apoyo público a la agricultura: España y sus comunidades autónomas en el contexto de la OCDE. *Revista de Economía Mundial*. España. 25: 159-190.
4. Andrés, S.; García, J. M.; Medina, I. M. 2012. El apoyo público a la agricultura española en el actual contexto de la Política Agrícola Común. *Información Técnica Económica Agraria-ITEA*. España. 108(4): 450-481.
5. Antón, J.; Compés, R.; García, J. M. 2007. La multifuncionalidad agraria en el marco del comercio internacional. En Gómez-Limón, J. A.; Barreiro, J. (coordinadores). *La multifuncionalidad de la agricultura en España*. España. Eumed y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 55-69.
6. Blandford, D.; Gaasland, I.; García, R. 2010. How effective are WTO disciplines on domestic support and market access for agriculture? *World Economy*. Reino Unido. 33(11): 1470-1485.
7. Bureau, J. C.; Jean, S. 2013. The impact of regional trade agreements on trade in agricultural products. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*. Francia. 65: 101-120.
8. Compés, R.; García, J. M. 2005. Las reformas de la política agrícola común en la Unión Europea ampliada: implicaciones económicas para España. *Papeles de Economía Española*. España. 103: 230-244.
9. Compés R.; García, J. M. 2013. The common agricultural policy in 2012, in the state of the European Union 2012, Friedrich Ebert Stiftung. Alemania. 129-142.
10. European Commission. 2001. Study on the impact of community agricultural policies on economic and social cohesion. Bélgica. Directorate General for Regional Policy.
11. European Spatial Planning Observation Network. 2005. The territorial impact of CAP and rural development policy. Reino Unido. Arkleton institute for rural development research. University of Aberdeen.
12. García, J. M.; Möhlendick, B.; Soriano, V. 1994. Gasto Público y Sistema Autonómico. La política agraria autonómica a examen. Valencia. Ed. Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació de la Generalitat Valenciana. Serie Estudios.
13. Hansen, H. 2005. Effects of agricultural policy measures on gross transfers to farmers: Intertemporal and interregional evidence from the CAP. Paper exhibit at the XIth Congress of the European Association of Agricultural Economists: 'The Future of Rural Europe in the Global Agri-Food System' Copenhagen, Denmark. 24-27.
14. Hoekman, B.; Martin, W.; Matoo, A. 2010. Conclude Doha: it matters! *World Trade Review*. Reino Unido. 9(3): 505-530.
15. ICTSD. 2013. Agriculture: Small steps forward on farm trade? *Bridges Weekly Trade News Digest*. Suiza. 17 (40): 57-81.
16. Jia, W.; Li, H.; Yu, D. 2011. The choice of path supporting agriculture at this stage in China. *International Conference on Engineering and Business Management*. China. 1-6: 3459-3461.
17. Josling, T. 2010. Reflections on the exceptional treatment of agriculture in the WTO. *German Journal of Agricultural Economics*. Alemania. 59 (s): 19-32.
18. Laborde, D.; Martin, W. 2012. Agricultural trade: what matters in the Doha Round? *Annual Review of Resource Economics*. Estados Unidos. 4: 264-285.
19. MAPA. 2004. Territorialización de los apoyos públicos. En Libro Blanco sobre la Agricultura y el Desarrollo Rural. Madrid. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
20. Martin, W.; Anderson, K. 2008. Agricultural trade reform under the Doha Agenda: some key issues. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. Australia. 52(1): 1-16.
21. Massot, A. 2013. La PAC y la sostenibilidad de la agricultura europea en la era global. En Gómez-Limón, J. A.; Reig, E. (coordinadores). *La sostenibilidad de la agricultura española*. Almería. Ed. Cajamar Caja Rural. 235-275.
22. Matthews, A. 2012. Environmental Public Goods in the New CAP: Impact of Greening Proposals and Possible Alternatives, IP/B/AGRI/CEI/2011-097/E001/SC1. Bélgica. Directorate-General for Internal Policies.
23. Matthews, A. 2013. Doha negotiations on agriculture and future of the WTO multilateral trade system. 135th EAAE Seminar Challenges for the Global Agricultural Trade Regime After Doha. Serbia. Serbian Association of Agricultural Economists. 1-41.

24. 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.
25. Nuetah, J. A.; Zuo, T.; Xian, X. 2011. Agricultural export subsidies and domestic support reform under the WTO system: what does it mean for welfare in West Africa? *World Economy. Reino Unido.* 34(12): 2044-2062.
26. 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.
27. Pisani, E.; Masiere, M.; Scrocco, S. 2015. Reintroduction of native cotton (*Gossypium Barbadian*) on the North coast of Peru: Analysis of economic feasibility for small producer. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 209-232.
28. Rodrik, D. 1997. Has globalization gone too far? *Estados Unidos. Ed. Institute for International Economics.*
29. 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.
30. Sumner, D. A.; Brunke, H. 2003. *Commodity Policy and California Agriculture.* En Jerome B. Siebert. *Forthcoming in California Agriculture: Issues and Challenges. Estados Unidos. University of California, Giannini Foundation.*
31. Swinnen, J.; Olper, A.; Vandermoortele, T. 2012. Impacto f the WTO on agricultural and food policies. *World Economy. Reino Unido.* 35(9): 1089-1101.
32. Tarditi, S.; Zanas G. 2001. *Common agricultural policy.* En Hall R.; Smith A.; Tsoukalis L. (editores). *Competitiveness and Cohesion in EU Policies. Reino Unido. Ed. Oxford University Press.* 179-216.
33. Walkenhorst, P. 2003. Regional diversity, policy targeting and agricultural producer support in Switzerland, *Jahrbuch für Regionalwissenschaft. Suiza.* 23 (2): 141-153.
34. Zanas, G. P. 2002. The distribution of CAP benefits among member states and the impact of a partial re-nationalisation: a note. *Journal of Agricultural Economics. Reino Unido.* 53(1): 108-112.
35. Zou, Y.; Wang, Q. 2012. Impacts of direct government payments on US agriculture: evidence from 1960-2010 data. *China Agricultural Economic Review. China.* 4(2): 188-199.

Acceptance of beef obtained through genetic modification and cloning in university students and working adults in southern Chile

Aceptación de carne bovina obtenida a través de modificación genética y clonación por parte de estudiantes universitarios y adultos que trabajan en el sur de Chile

Berta Schnettler ¹, Carlos Velásquez ¹, Germán Lobos ², Ligia Orellana ^{3,4}, José Sepúlveda ^{3,4}, Natalia Salinas-Oñate ⁴, Cristian Adasme-Berríos ⁵, Klaus G. Grunert ⁶

Originales: *Recepción:* 04/11/2015 - *Aceptación:* 06/04/2016

ABSTRACT

In order to compare the acceptance of beef obtained from a conventionally bred, cloned or genetically modified (GM) animal by working adults and university students, and to identify consumer segments in both subsamples, a survey of 400 people in southern Chile was applied, distributed by means of proportional allocation. Using a conjoint analysis in the total sample, it was determined that the production technology was more important than the price, origin, presentation or breed of the animal. The consumers preferred Argentinean beef, cut, from a conventional animal, at the lowest price. In both subsamples one segment was sensitive to the production technology, one to the price and one to the origin of the meat. Nevertheless, the proportion of adults who rejected cloning and GM was greater, whereas a significant proportion of students viewed meat from a cloned or GM animal positively. In both subsamples, the groups sensitive to the origin had a positive view of beef from a GM animal. The groups in the subsample of students were differentiated by the frequency of beef consumption. In both subsamples, the segments did not differ in the level of satisfaction with their food-related life.

Keywords

cloned animal • genetically modified animals • beef • consumer acceptance

-
- 1 Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. Casilla 54-D, Temuco, Chile. berta.schnettler@ufrontera.cl
 - 2 Escuela de Ingeniería Comercial, Universidad de Talca, Talca, Chile.
 - 3 Department of Psychology, University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom.
 - 4 Centro de Psicología Económica y del Consumo, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.
 - 5 Departamento de Economía y Administración, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.
 - 6 MAPP Centre, Aarhus University. Aarhus, Denmark.

RESUMEN

Con el objetivo de comparar la aceptación de carne bovina de un animal convencional, clonado y genéticamente modificado (GM) en adultos laboralmente activos y estudiantes universitarios, e identificar segmentos de consumidores en ambas submuestras, se aplicó una encuesta a 400 personas en el sur de Chile, distribuidas mediante afijación proporcional. Mediante análisis conjunto, en la muestra total se determinó que la tecnología de producción fue más importante que el precio, el origen, la presentación y la raza del animal. Los consumidores prefirieron carne argentina, al corte, de un animal convencional, al precio más bajo. En ambas sub-muestras se distinguió un segmento sensible a la tecnología de producción, uno sensible al precio y uno sensible al origen de la carne. Sin embargo, fue mayor la proporción de adultos que rechazó la clonación y la GM, mientras una importante proporción de estudiantes se mostró positivo frente a la carne de un animal GM y clonado. En ambas sub-muestras los grupos sensibles al origen se mostraron positivos frente a la carne de un animal GM. Los grupos de la sub-muestra de estudiantes se diferenciaron según la frecuencia de consumo de carne bovina. En ambas sub-muestras los segmentos no difirieron según el nivel de satisfacción con su alimentación.

Palabras clave

clonación animal • animales genéticamente modificados • carne bovina • aceptación del consumidor

INTRODUCTION

New technologies are being continuously developed and implemented in the food chain, promising more efficient production and better quality for consumers (7). However, the application of modern technologies for creating new food products is a cause of concern for consumers (6). Following the classic scheme of Engel *et al.* (1978), the consumer's purchase decision process can be described in five stages: 1) recognition of the problem, 2) search for information, 3) evaluation of the options or alternatives, 4) selection of the purchase, and 5) post-purchase evaluation. In the second stage of this process the consumer looks for information about products, brands or services that can cover his needs, while in the third stage the consumer evaluates the

options according to a series of evaluation criteria. In this regard, when evaluating food products and making purchase decisions, consumers use a broad range of criteria, considering the way a product is produced, including its technological, ethical and social implications (1, 7). Meat in general and beef in particular are an interesting and relevant case for studying consumer acceptance of new technologies.

The meat industry has been named as being among the least innovative in the food industry, particularly compared to the beverage and dairy industries (7, 35). Also, the meat and beef industry has been subject to several consecutive safety crises (11), which increases consumer concern. Therefore, it is to be expected that consumers may express fears about

novel technologies such as genetic modification applied to foods of animal origin and animal cloning, rejecting those technologies which otherwise may provide useful solutions which are also in the consumers' interest (3). In this regard, this study compares the acceptance of beef obtained from genetically modified (GM), cloned and conventionally bred animals.

The term "genetically modified animals" is rather broad, and may apply to animals fed with feed containing GM additives or enzymes, those given GM vaccines and hormones, or those that are GM themselves (23). Consumers have been found to have higher acceptance of GM technologies using plant-based products rather than animal-based products (11), although other authors report the opposite (27).

While European consumers are concerned about the use of GM in animal production (20) and meat products (21), in terms of environmental sustainability, human health and animal welfare, in the US there is evidence to indicate the opposite (6).

However, although several authors have reported that acceptance of GM foods is lower in Europe than in the US (13), some studies indicate that this situation might be changing. A recent study in the US found that consumers are willing to pay more to avoid GM foods (37).

In six European countries, O'Brien *et al.* (2012) determined that acceptance of food of animal origin which has been fat-modified using GM varies between foods. The most accepted were fish, cheese and red meats, whereas the least accepted were eggs, butter and milk.

Cloning was originally used in microbiology and agriculture, and is the process of multiplying single organisms by means of asexual reproduction to create a population of identical individuals (12).

Between 2008 and 2009 the competent authorities in the US, Europe and Japan concluded that meat and milk derived from animal clones and their offspring are as safe for consumption as those derived from conventionally bred animals (3).

Future commercial agri-food opportunities may include the development of animals that are more efficient at converting feed and growing, and disease resistant/tolerant to climatic changes (13). While studies of consumer preference for GM foods are somewhat abundant (37), there is limited information about consumer attitudes toward food derived from animal clones (3).

Nevertheless, animal cloning shares some similarities with GM technology in terms of consumer awareness and acceptance (25). While some studies reported that between 40 and 50% of consumers would not purchase meat or milk derived from cloned animals (3, 17, 34), others found that consumers place a higher value on non-cloned products than on cloned products (2-4). This background therefore leads us to propose the following hypothesis:

H1. Consumers will prefer beef from conventionally bred animals.

However, both the acceptance of foods of animal origin GM (24) and foods obtained from cloned animals (34) differed between countries in developed countries. This knowledge, in contrast to other studies that have assessed acceptance of GM foods in developing countries (8, 27, 28, 32), there is limited research on the acceptance of animal cloning in these nations (32). It is also worthy of note that most available studies have assessed acceptance of GM foods and those from cloned animals separately, and very few studies have addressed the relative consumer acceptance of both

technologies. A recent study in the UK reported that consumers were relatively less worried about GM foods and cloning than about the use of hormones and pesticides in food production (11).

In Chile it was found that consumers preferred milk from a conventional animal and rejected milk from a cloned or GM cow, but the youngest respondents rejected cloning and the older respondents rejected GM (32).

Indeed, the acceptance or rejection of these technologies is varied, with segments in favor and others against (27, 28, 37). Some authors indicate that acceptance of GM foods is not related to consumer socio-demographic characteristics (20); yet there is evidence that women (27, 37), less educated (27, 33) and older people (25, 37) reject GM foods more strongly. Likewise, recent studies have reported that older people (5) and those with a high school education (4) are less supportive of cloning than younger people and those with a bachelor's degree or higher level of education.

In addition, in Europe de Barcellos *et al.* (2010) found that young people tended to be more favorable towards new beef technologies, whereas older people were more inclined to traditional and natural products.

Therefore, it is to be assumed that acceptance of beef obtained from a conventionally bred, cloned or GM animal is related to the consumer's age. For this reason, the study is conducted using two subsamples: working adults (WA) and university students (USt). While WA represent current and medium-term acceptance, USt may tend to acceptance over a longer period, considering that young people search for new food experiences and become increasingly neophilic, attempting to

distinguish themselves from their parents' food-related values (19). This may provide orientation for the production sector, government agencies and sellers as to which technology may be most successful in the market, both in the medium and long term. On this basis, we suggest the following hypotheses:

H2. Acceptance of beef obtained from cloned, GM and conventionally bred animals will differ between WA and USt.

H3. Based on consumer preferences, it is possible to identify several (or more than one) consumer segments in the WA and USt subsamples.

Additionally, some studies explore neural reactions behind consumers' choice of food technologies (22) and relate psychological aspects to preferences for certain foods. In this regard, some studies have reported that satisfaction with food-related life is associated with the preference for foods produced with new technologies applied to food production (29), but others indicated the opposite (32).

Therefore, this study assesses whether the level of satisfaction with food-related life is associated with acceptance of beef obtained from GM or cloned animals. So, we propose the following hypotheses:

H4. In the WA subsample, consumers' preferences will be associated with their demographic characteristics and their degree of satisfaction with food-related life.

H5. In the USt subsample, consumers' preferences will be associated with their demographic characteristics and their degree of satisfaction with food-related life.

According a recent study (17), commercial cloning activity for livestock is best developed in bovine animals. Cloning technology is being applied to cattle in the US, Canada, Argentina and Australia. It may also be being undertaken in Brazil, New Zealand, Chile, China and

Uruguay based on the presence of cattle cloning companies in these countries (17). Given that over 50% of the beef consumed in Chile is imported (9) and comes from countries using cloning, it is interesting to study Chilean consumer acceptance of this technology and compare it to acceptance of beef obtained from GM and conventionally bred animals.

Goals

Thus, the aims of this study were: to compare the acceptance of beef obtained from cloned, GM and conventionally bred animals in southern Chile; to compare preferences for these products in working adults (WA) and university students (USt); and to identify consumer segments among WA and USt in terms of preferences and characterize them according to socio-demographic characteristics and level of satisfaction with food-related life.

MATERIALS AND METHODS

Survey

Accidental non-probability sampling was used to recruit a sample of 400 people in Temuco (a city in southern Chile). This number was obtained using the stratified random sampling formula with simple allocation for non-finite populations ($N > 100,000$), considering 95% confidence and 5% estimation error with p and q of 0.5. Thus, 200 USt and 200 WA were surveyed.

The survey was applied personally by two previously trained interviewers in July and August 2013, after the questionnaire had been validated by means of a preliminary test with 10% of the sample. The Bioethics Committee of the Universidad de La Frontera approved the study.

A questionnaire with closed-ended

questions was used to collect information to determine whether the respondents understood the meaning of a cloned or GM animal and the frequency of beef consumption.

The questionnaire included the Satisfaction with Food-related Life (SWFL) scale, developed by Grunert *et al.* (2007). This scale evaluates a person's overall assessment regarding their food and eating habits. This means, it evaluates subjective well-being in the domain of food and is directly related to overall life satisfaction, which constitutes the cognitive component of subjective well-being (14).

The SWFL was included in the study due to the relationship among psychological aspects and preferences for certain foods (22) and to evidence which indicates that the degree of satisfaction with food-related life is linked to the preference for foods produced with new technologies applied to food production (29).

The SWFL scale consist of five items grouped into a single dimension: 1. Food and meals are positive elements, 2. I am generally pleased with my food, 3. My life in relation to food and meals is close to ideal, 4. With regard to food, the conditions of my life are excellent, 5. Food and meals give me satisfaction in daily life.

The respondents were asked to indicate their degree of agreement with the five items using a 6-point Likert scale (1 = disagree completely, 6 = agree completely). The Spanish-language version of the SWFL was used, which has shown good levels of internal reliability in previous studies conducted in Chile (29, 31, 32).

In this study, Cronbach's α coefficients were 0.89 in the USt subsample and 0.83 in the WA subsample. Classification questions were included to establish gender, age, area of residence, level of education of the head of the household,

and possession of 10 household goods. These two last variables determine the socio-economic level, classified as ABC1 (high and upper middle), C2 (middle-middle), C3 (lower middle), D (low) and E (very low) (2).

In order to evaluate acceptance of beef obtained from conventionally bred, GM and cloned animals, a conjoint analysis (CA) was performed. CA is based on the premise that consumers assess the value of a real or hypothetical product by combining separate quantities of value that each attribute provides (16).

Table 1 shows the attributes and levels defined for the beef.

The levels established for the attribute "country of origin" was defined as the two main countries of beef imports in recent years, Brazil and Argentina, and Australia for the increase in imports from that country since 2008 (9). To avoid the effect of ethnocentrism on the choice, Chilean origin was omitted as previous studies show a strong preference for domestic beef (30), even though imported

beef has represented around 50% of the meat available for consumption on the Chilean domestic market (9).

The attribute "breed" was included due to the increasing supply in the Chilean market of beef in which the animal's breed is noted as a way to differentiate the product.

The levels of this attribute corresponded to the three breeds being used to differentiate the product at the time of the survey. For the attribute "packaging" the levels corresponded to the three types of commercialization of beef in the Chilean market.

The price levels were established based on current prices in the Temuco market for 1 kg of sirloin at the time of the survey. From these attributes and levels, a total of 243 combinations (3x3x3x3x3) were obtained; however, to facilitate the respondents' answers, it was decided that a fractional factorial design would be used, obtained with the macro MktEx from the SAS Institute (18).

Table 1. Design of the conjoint experiment.

Tabla 1. Diseño del análisis conjunto.

Card	Origin	Breed	Package	Production Technology	Price (US\$/kg)
A	Argentina	Wagyu	Tray	Conventional	28.0
B	Argentina	Angus	Tray	Genetically modified	22.8
C	Argentina	Overo colorado	Cut	Conventional	17.5
D	Argentina	Overo colorado	Vacuum packing	Cloned	22.8
E	Brazil	Wagyu	Cut	Cloned	22.8
F	Brazil	Angus	Tray	Cloned	17.5
G	Brazil	Angus	Vacuum packing	Conventional	28.0
H	Brazil	Overo colorado	Cut	Genetically modified	28.0
I	Brazil	Overo colorado	Tray	Conventional	22.8
J	Australia	Wagyu	Vacuum packing	Genetically modified	17.5
K	Australia	Angus	Cut	Conventional	22.8
L	Australia	Overo colorado	Tray	Cloned	28.0

The national currency values (Chilean pesos) were converted to dollars using the average 2014 value (\$570.43/US\$).

Los valores en moneda nacional (pesos chilenos) fueron convertidos a dólares usando el valor promedio de 2014 (\$570,43/US\$).

This allowed the number of stimuli to be reduced to twelve with one specification for each attribute. The stimuli were presented to respondents on cards with verbal information. The evaluation techniques commonly used in CA are classification by ranking and rating. The former, in which the respondent is asked to order the stimuli from the most to the least preferred, has the advantage of being easier for the respondent to express the magnitude of preference given the reduced number of stimuli (less than 20 as in this study).

The main disadvantage, however, lies in the difficulty of its application, because the ordering process is normally done by classifying cards with the stimuli and this procedure can only occur by means of a personal interview.

In the classification by rating, the respondents must evaluate the stimuli by assigning a score (*e.g.* using a scale from 1 to 10) for each of the stimuli, related to the degree of preference for the stimulus. Its ease of application is one of its main advantages; nevertheless, respondents can be less discriminating in their opinions than they would be with a ranking (16).

In relation to the results obtained with each technique, Sayadi *et al.* (2005) concluded that both techniques are equally valid when it comes to detecting the ordinal structure of preferences. However, these authors found the ranking method reveals more intensely the differences between levels than the rating method. In addition, they found the utility model obtained by the rating method represents the preferences expressed better than the ranking method (26).

Considering the advantages of the ranking evaluation and given that this study consisted of a personal interview, this evaluation technique was chosen. Thus, each participant ranked twelve

cards from most to least preferred using a scale from 1 to 12 (1 = most preferred; 12 = least preferred).

Prior to asking the respondents to put the cards in order, the following definitions were read to them: "A GM organism is that in which the genetic material (DNA) has been altered in a way that does not occur naturally. It allows selected individual genes to be transferred from one organism to another, even between non-related species" (36); "Cloning is the process of multiplying single organisms by means of asexual reproduction to create a population of identical individuals" (12).

Statistical analysis

A conjoint analysis was carried out using the TRANSREG procedure by SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). The relative importance consumers gave to the different attributes and the utility values obtained for each level of the selected factors were determined.

The root mean square error (RMSE) was calculated to measure the difference between the observed and the predicted data. An independent sample t-test was applied to investigate potential significant differences in the mean responses for USt and WA.

A hierarchical cluster analysis was chosen to determine consumer segments according to the partial utility scores of the attribute levels. A cluster analysis was carried out separately on the USt and WA subsamples. Ward's procedure, which calculates the squared Euclidean distance, was carried out using the CLUSTER procedure by SAS. To describe the segments, Pearson's Chi-square (χ^2) test was applied to the discrete variables and a one-factor analysis of variance to the continuous variables (99% and 95% confidence level).

Since Levene's statistic indicated non-homogeneous variances in all of the continuous variables analyzed,

the variables for which the analysis of variance resulted in significant differences ($P < 0.001$) were subjected to Dunnett's T3 multiple comparisons test.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the sample description. The sample was balanced according to gender, and was composed principally of

people residing in urban areas, people from the ABC1 and C2 socio-economic groups, and people belonging to families where the head of the household had a high-school education.

The greatest proportion of participants consumed beef two or three times a week. A large number of respondents stated they knew the meaning of cloned or GM. The mean score of the SWFL in the total sample was 24.6 (SD=3.76) from a theoretical maximum of 30.

Table 2. Description of the sample in percentages. Temuco, Chile. August, 2013.

Tabla 2. Características de la muestra (%). Temuco, Chile. Agosto de 2013.

	Composition	Total sample (n = 400)	University students (n = 200)	Working adults (n = 200)	P-value
Gender	Male	49.5	55.5	43.5	0.016 ^a
	Female	50.5	44.5	56.5	
Residence	Urban	81.8	86.5	77.0	0.014 ^a
	Rural	18.3	13.5	23.0	
Socio-economic status	ABC1	39.3	36.5	42.0	0.261 ^a
	C2	40.5	40.0	41.0	
	C3	12.0	14.0	10.0	
	D-E	8.3	9.5	7.0	
Education	Primary school	5.5	6.0	5.0	0.568 ^a
	High school	37.0	36.0	38.0	
	Tech degree	28.5	30.5	26.5	
	Undergraduate	29.0	27.5	30.5	
Age	Mean age	31.8	23.7	40.0	0.000 ^b
Frequency of beef consumption	No consume	3.2	4.5	2.0	0.013 ^a
	Daily	17.5	16.0	19.0	
	2-3 times/week	56.8	50.5	63.0	
	1 time/week	17.8	22.0	13.5	
	Occasionally	4.0	5.5	2.2	
	Other frequency	0.8	1.5	0.3	
Do you know what it means when an animal is cloned	Yes	97.5	98.5	96.5	0.200 ^a
	No	2.5	1.5	3.5	
Do you know what it means when an animal is GM	Yes	86.3	93.0	79.5	0.000 ^a
	No	13.8	7.0	20.5	
SWFL	Mean score	24.5	24.5	24.7	0.474 ^b

^a P value corresponds to the (bilateral) asymptotic significance obtained in Pearson's Chi-squared test. Valor P corresponde a la significancia asintótica (bilateral) obtenida en Prueba Chi² de Pearson.

^b P value correspond to Student's t-test for related samples (paired).

Valor P corresponde a la prueba t de Student para muestras relacionadas. GM: genetically modified.

The RMSE of the conjoint analysis was 0.18, which indicated a good goodness-of-fit (18). According to the conjoint analysis (table 3) for the entire sample, the attribute of greatest importance during the purchase process was the production technology, followed by the price, country of origin, package, and finally the breed.

The greatest importance being assigned to production technology is consistent with previous studies that have assessed the acceptance of foods produced conventionally and with new food production technologies, as is the secondary importance of the price (26-40).

Table 3. Relative importance for overall sample and subsamples based on preferences for beef produced conventionally, by cloning or by GM.

Tabla 3. Importancia relativa correspondiente a la muestra total y a las submuestras basadas en las preferencias hacia carne bovina producida en forma convencional, mediante clonación o genéticamente modificada.

Attribute and Levels	Total sample (n = 400)	University students (n = 200)	Working adults (n = 200)	P-value
Origin				
Argentina	0.799	0.990	0.608	0.004
Brazil	0.026	-0.105	0.156	0.004
Australia	-0.824	-0.885	-0.764	0.367
Relative importance (%)	17.3	14.3	15.1	0.054
Breed				
Angus	-0.191	-0.139	-0.243	0.371
Overo Colorado	-0.084	-0.189	0.021	0.035
Wagyu	0.274	0.328	0.221	0.391
Relative importance (%)	14.7	18.5	16.0	0.387
Package				
Tray	-0.421	-0.352	-0.491	0.196
Cut	0.239	0.170	0.308	0.270
Vacuum packing	0.182	0.182	0.183	0.992
Relative importance (%)	15.6	15.4	15.8	0.765
Production Technology				
Conventional	1.684	1.522	1.847	0.125
GM	-0.919	-0.653	-0.877	0.626
Cloned	-0.765	-0.868	-0.970	0.142
Relative importance (%)	33.7	33.8	33.6	0.915
Price				
Low	0.529	0.465	0.593	0.387
Medium	0.092	-0.038	0.224	0.028
High	-0.622	-0.427	-0.819	0.004
Relative importance (%)	18.8	18.0	19.5	0.240

P value correspond to Student's t-test for related samples (paired). GM: genetically modified. Valor P corresponde a la prueba t de Student para muestras relacionadas. GM: genéticamente modificado.

The greater importance assigned to production technology over the food's country of origin is also confirmed (28).

The signs of the utility values indicate consumers preferred the beef imported from Argentina and Brazil (greatest preference for Argentinean beef), cut or vacuum-packed (greater preference for cut meat), from the Wagyu breed, at the lowest price.

The preference for the Argentinean product suggests that Chilean consumers perceive foods from that country positively in agreement with previous studies that indicate a preference for oil (28) and beef (30) imported from Argentina. In the case of beef, this can be associated with the management used in beef production there (15).

Consumers preferred beef from a conventional animal and rejected meat from cloned or GM animals. This result makes it possible to accept hypothesis 1, which is consistent with the results of previous studies that have assessed the acceptance of GM foods (20, 21, 27, 28, 32) and cloned foods (3, 7, 8, 32, 34) in both developed and developing countries. Nevertheless, in the case of GM foods, it contradicts the results of studies carried out both in developing (8) and developed countries (6).

In China De Steur *et al.* (2010) found consumers generally willing to accept GM foods. Cox *et al.* (2011) reported in a US sample that consumers reported preferences for milk from cows fed with GM oilseed. One remarkable aspect is the agreement with the results from a previous study conducted in Chile (32), in which respondents preferred milk from a conventional cow and rejected milk from a cloned or GM cow. This seems to indicate that, generally, consumers reject the use of these technologies in the production

of food of animal origin. In this vein, De Barcellos *et al.* (2010) concluded that invasive technologies tending to deviate from conventional production practices are widely rejected.

In contrast to what was expected, significant differences were only detected between the subsamples in the preference for beef imported from Argentina and Brazil and in the preference for mid-range and high prices ($P \leq 0.05$) and not in the preferences for beef from a conventional, GM or cloned animal. These results mean that hypothesis 2 is rejected, and contradicts studies indicating that young people have a more positive attitude to GM foods (25, 37), those obtained from cloned animals (5) and towards beef new technologies in general (7).

However, it is consistent with a study conducted in the US, which reported that age did not affect attitudes and intention to purchase GM foods (38). It also agrees with a previous study in Chile, where no differences were observed in age with respect to the preference for milk from a conventionally bred animal or in the rejection of the product obtained from a cloned or GM animal (32). Therefore, the results of this study suggest that the general acceptance of foods derived from GM or cloned bovine animals is negative among consumers in southern Chile, independently of the consumer's age or generation. These attitudes are noteworthy, because public acceptance may play a major role in determining the advancement of biotechnology (33).

The cluster analysis distinguished three consumer segments in both subsamples. In the USt subsample the groups differed significantly in terms of preference for almost all attribute levels ($P \leq 0.001$ or $P \leq 0.05$), except in the preferences for Wagyu beef, packaged on a tray and at

the mid-range price ($P>0.1$) The groups also differed in terms of the importance assigned to all the attributes ($P\leq 0.001$) (table 4, page 152). These groups differed significantly (table 5, page 153) only in terms the frequency of beef consumption ($P\leq 0.001$):

Sensitive to the price and technology, rejection of cloning. Group USt 1 (27.5%)

This group assigned greatest importance to the production technology, but stood out as being the group that gave significantly greater importance to the price, and showed the strongest preference for the lowest price, significantly higher than the other groups. They preferred beef from a conventional animal, although significantly less than Group 3. It stood out as the group with the greatest rejection of beef from a cloned animal. It is also had a significantly stronger preference for beef imported from Brazil, from the Overo Colorado breed and vacuum-packed (table 4, page 152). This group was mainly composed of students who eat beef daily (32.7%) (table 5, page 153).

Sensitive to the country of origin, rejection of conventional beef. Group USt 2 (41.0%)

This group placed greatest importance on the country of origin and showed the greatest preference for beef imported from Argentina, significantly more than the other groups. This group stood out for the significant rejection of beef from a conventional animal and a significantly greater preference for meat from a GM or cloned animal. It was also distinguished for the significantly stronger preference for Angus beef and for the highest price, although it did not differ statistically from Group 3 in

the price (table 4, page 152). This group was composed of a higher proportion of students that consumes beef two to three times a week (table 5, page 153).

Sensitive to the technology, rejection of GM. Group USt 3 (31.5%)

This group assigned significantly greater importance to the production technology and showed a significantly greater preference for beef from a conventionally bred animal. Although it rejected both types of unconventional beef, it stood out for a greater rejection of beef from a GM animal. This group was also noted for the greater preference from cut meat, although it did not differ significantly from Group 2 (table 4, page 152).

In the WA subsample the groups differed significantly in terms of preference for almost all attribute levels ($P\leq 0.001$ or $P\leq 0.05$), except in the preferences for beef imported from Brazil, packaged on a tray and at the mid-range price.

The groups also differed in terms of importance assigned to all the attributes ($P\leq 0.001$ or $P\leq 0.05$) (table 4, page 152). These groups did not present any statistical differences according to any sociodemographic or consumption variable ($P>0.1$).

Sensitive to price. Group WA 1 (21.5%)

This group gave greatest importance to the price and showed a significantly greater preference for the lowest price. It showed a similar trend to the total sample in terms of the preference for beef produced with different technologies. It stood out for having the strongest preference for Wagyu beef and for the significantly greater preference for vacuum-packed beef (table 4, page 152).

Table 4. Distribution and relative importance of clusters in both subsamples based on preferences for beef produced conventionally, by cloning or by GM.

Tabla 4. Distribución e importancia relativa de los clusters en ambas submuestras basada en las preferencias hacia carne bovina producida en forma convencional, clonada o genéticamente modificada.

Attribute and Levels	University students				Working adults					
	Group 1 (n=55, 27.5%)	Group 2 (n=82, 41.0%)	Group 3 (n=63, 31.5%)	F	P-value	Group 1 (n=43, 21.5%)	Group 2 (n=77, 38.5%)	Group 3 (n=80, 40.0%)	F	P-value
Origin										
Argentina	0.270 b	1.682 a	0.718 b	23.311	0.000	0.237 b	1.157 a	0.278 b	13.577	0.000
Brazil	0.136 a	-0.265 b	-0.106 b	3.035	0.050	-0.109	0.236	0.223	2.742	0.067
Australia	-0.406 a	-1.417 b	-0.611 a	12.446	0.000	-0.128 a	-1.393 b	-0.500 a	17.327	0.000
Relative importance (%)	12.5 b	24.8 a	15.5 b	21.131	0.000	11.3 b	22.9 a	12.0 b	21.467	0.000
Breed										
Angus	-0.679 b	0.139 a	-0.029 a	9.284	0.000	-0.654 b	-0.140 a	-0.120 a	3.583	0.030
Overo Colorado	0.303 a	-0.349 b	-0.412 b	10.028	0.000	-0.070 ab	0.256 a	-0.155 b	3.698	0.027
Wagyu	0.376	0.209	0.442	0.744	0.476	0.725 a	-0.116 b	0.275 ab	6.110	0.003
Relative importance (%)	13.0 ab	17.6 a	11.2 b	10.618	0.000	18.9 a	15.6 a	12.5 b	8.333	0.000
Package										
Tray	-0.190	-0.513	-0.285	1.702	0.185	-0.323	-0.654	-0.425	1.561	0.213
Cut	-0.125 b	0.145 ab	0.462 a	3.544	0.031	-0.433 b	0.626 a	0.400 ab	10.868	0.000
Vacuum packing	0.315 a	0.368 a	-0.177 b	3.698	0.027	0.756 a	0.027 b	0.025 b	5.815	0.004
Relative importance (%)	12.8 b	20.3 a	11.4 b	19.000	0.000	18.3 a	16.9 a	13.3 b	4.002	0.020
Production Technology										
Conventional	2.343 b	-0.635 c	3.612 a	207.340	0.000	0.870 b	0.727 b	3.453 a	80.477	0.000
GM	-0.442 b	0.531 a	-3.061 c	116.235	0.000	-0.532 b	0.893 a	-3.000 c	227.843	0.000
Cloned	-1.901 c	0.105 a	-0.551 b	37.078	0.000	-0.338 a	-1.620 b	-0.453 a	18.653	0.000
Relative importance (%)	35.0 b	20.6 c	49.8 a	76.569	0.000	17.5 c	28.4 b	47.2 a	64.052	0.000
Price										
Low	1.467 a	-0.034 b	0.241 b	24.644	0.000	2.151 a	0.027 b	0.300 b	39.469	0.000
Medium	0.136	-0.069	-0.149	0.878	0.417	0.188	0.160	0.305	0.324	0.724
High	-1.602 b	0.103 a	-0.091 a	32.009	0.000	-2.340 b	-0.187 a	-0.605 ab	39.407	0.000
Relative importance (%)	26.7 a	16.6 b	12.1 b	24.036	0.000	34.0 a	16.3 b	15.0 b	37.937	0.000

Root-mean-square error (RMSE) = 0.18. Different letters on the line indicate significant differences according to Dunnett's T3 multiple comparisons test ($P \leq 0.05$). GM: genetically modified.

Letras distintas en una misma fila indican diferencias estadísticas significativas según Prueba de Comparaciones Múltiples T3 de Dunnett ($P \leq 0.05$). GM: genéticamente modificado.

Table 5. Characteristics with significant differences (χ^2) in groups (%) identified by cluster analysis in the university student subsample.

Tabla 5. Características de los segmentos identificados (%) con diferencias estadísticas (χ^2) entre ellos obtenidas con análisis cluster en la submuestra de estudiantes universitarios.

Characteristic	Group 1 (n=55, 27.5%)	Group 2 (n=82, 41.0%)	Group 3 (n=63, 31.5%)
Frequency of beef consumption		P=0.001	
Do not consume	3.6	2.4	7.9
Daily	32.7	9.8	9.5
2-3 times/week	32.7	64.6	47.6
Once a week	27.3	18.3	22.2
Occasionally	1.8	4.7	9.5
Other frequency	1.8	0.2	3.2

P value corresponds to the (bilateral) asymptotic significance obtained in Pearson's Chi-squared test.
Valor P corresponde a la significancia asintótica (bilateral) obtenida en Prueba χ^2 de Pearson.

Sensitive to the country of origin, preference for GM beef. Group WA 2 (38.5%)

This group assigned high importance to the production technology, although it was distinguished as being the group that gave the greatest importance to the country of origin and showed the strongest preference for Argentinean beef. This group was also the only one that preferred beef from a GM animal and significantly rejected meat from a cloned animal (table 4, page 152).

Sensitive to the technology, rejection of GM. Group WA 3 (40.0%)

This group assigned the greatest importance to the production technology, significantly higher than the other groups. They showed to the greatest preference for beef from a conventional animal and the greatest rejection of GM (table 4, page 152).

The results of the cluster analysis mean that hypothesis 3 can be accepted, but at the same time hypotheses 4 and 5 are rejected, because the segments identified in each subsample did not

differ in demographic characteristics or according to level of satisfaction with food-related life. Although these results contradict studies that report differences in the acceptance of foods obtained from GM or cloning associated with the consumer's gender and level of education (27, 33, 37), they confirm the results of studies that found that acceptance of GM foods (20) and food obtained from cloned animals (32) is not related to consumer socio-demographic characteristics in either developed or developing countries.

With respect to satisfaction with food-related life, the result here contradicts a previous study that reported people with a high level of satisfaction with food-related life as being more receptive to the use of nanotechnology in food production (29), but agrees with a recent investigation in which no association was found between the acceptance of milk obtained from a cloned or GM cow and the level of satisfaction with consumers' food-related life. Therefore, it is possible that the existence of a relationship between satisfaction with food-related

life and acceptance of new technologies applied to food production depends on the type of technology being evaluated.

In terms of the respondents' preferences, in both subsamples there was one segment sensitive to production technology, which showed a strong preference for beef from a conventionally bred animal and a greater rejection of GM (USt subsample: 31.5%, WA subsample: 40.0%). These results vary from those of a previous study on milk, in which both working adults and university students were separated into two consumer segments sensitive to the production technology that differed in the level of rejection of cloning and GM (32).

In addition, in this study both subsamples revealed a consumer segment sensitive to the price, with a strong preference for the lowest. However, while the segment sensitive to the price in the USt subsample (27.5%) was also sensitive to the production technology (strongly rejecting cloning), the group sensitive to the price in the WA subsample (21.5%) assigned low importance to this attribute.

In both subsamples a segment sensitive to the country of origin was also distinguished, which confirms the importance of this attribute in the decision to purchase beef (30). Both segments agreed in the greater preference for beef imported from Argentina and in the acceptance of beef from a GM animal, but they differed in the importance assigned to the production technology and in the preference for beef from a conventionally bred or cloned animal.

For the group sensitive to origin in the USt subsample (41.0%) the importance of the production technology was secondary, but for the group sensitive to origin in the WA subsample (38.5%) the production technology was the most relevant

attribute in the decision to purchase. In the WA subsample (38.5%) the consumers sensitive to origin showed a preference for beef from a conventionally bred animal and strongly rejected beef from a cloned animal. By contrast, the group sensitive to origin in the USt subsample (41%) was the only one that rejected beef from a conventionally bred animal and showed acceptance of beef from a cloned animal. It is worth noting that both groups sensitive to origin showed acceptance of beef from a GM animal. Therefore, independent of the age, the segments sensitive to the origin of the beef were more positive about new production technologies. Therefore, companies endeavoring to introduce animal meat produced with these technologies onto the Chilean market in the future should target this type of consumer in their marketing strategy.

Therefore, even though the overall test of differences between the subsamples, in their preferences for the technology associated with the animal from which the beef was obtained, did not yield any significant differences, the results of the cluster analysis suggest a greater rejection of GM and cloning among the WA subsample. Although the segments that rejected beef from a GM animal represent a proportion close to 60% in both subsamples (USt Groups 1 and 3: 59.0%; WA Groups 1 and 3: 61.5%), if only the groups with a strong rejection of GM are considered, the proportion is 40.0% (Group 3) in the WA subsample and 31.5% (Group 3) in the USt subsample. In the case of cloning, while the proportion of rejection in the USt sample reached 59.0% (Groups 1 and 3), in the WA subsample the three segments identified rejected it. In addition, in both subsamples there was a segment which strongly rejected cloning, which reached 27.5% in the USt subsample

(Group 1), but bordered on 40% in the WA subsample (Group 2, 38.5%).

One noteworthy result is the preference for beef from a cloned or GM animal and the rejection of beef from a conventionally bred animal in the segment sensitive to origin in the USt sample (Group 2, 41.0%), which indicates a more positive attitude on the part of young people to the consumption of beef from animals obtained with these new technologies. This result differs from a previous study, in which all the consumer segments identified preferred milk from a conventionally bred animal (32). Therefore, it can be suggested that acceptance of cloning and GM in animal production may be associated with the food, a result consistent with a previous study in Europe (24), which revealed greater acceptance of GM red meat than GM milk. At the same time, the results of this study make it possible to expect a more positive attitude to new production technologies applied to beef production in the future in southern Chile, when the current USt are in charge of food purchases for their households.

Finally, the differences in the consumption frequency of beef in the USt sample seem to confirm that the preferences for GM foods are related to food consumption habits (32). Nevertheless, it is also possible to associate them with sensitivity to the price because Group 1 reported a greater daily consumption of beef and the strongest preference for the lowest price.

From the perspective of developing marketing strategies for each production technology, in the USt subsample Groups 1 (27.5%) and 3 (31.5%) are attractive market segments for the marketing of conventionally produced beef. Although in both groups the marketing mix should emphasize the traditional nature of

production on the package or label, these segments should be addressed with a differentiated marketing strategy.

For successful marketing in Group 1, the marketing mix must emphasize a lower price, which could, however, be unattractive for companies or producers who wish to differentiate themselves by the traditional or natural nature of their product. In relation to the product, the meat should be marketed in vacuum packing. By contrast, the marketing mix aimed at Group 3, the most attractive segment for meat produced traditionally due to its greater size and low sensitivity to price, should consider Argentinean beef, marketed based on the cut and offered at a price above that of the competition. Group 2 (41.0%), on the other hand, would make an attractive alternative for the market introduction of beef obtained from GM and cloned animals. In terms of product, Argentinean beef would be well received and should be marketed in vacuum packing that would highlight the origin of the product. It would also be feasible to differentiate it by indicating the breed of the animal and setting a higher price.

Likewise, in the WA subsample Groups 1 (21.5%) and 3 (40.0%) are the most attractive market segments for conventional beef, whereas Group 2 (38.5%) is seen as a possible alternative for the introduction of beef obtained from GM animals. Similar to what was proposed for the USt subsample, the marketing mix aimed at Groups 1 and 3 of the WA subsample should emphasize the traditional nature of production on the package or label. However, to access Group 1 successfully, it is also relevant to offer a low price, to market the meat in vacuum packing and differentiate it by the breed of the animal. In the marketing mix of Group 3, which is more attractive due to its size, the meat

must be marketed based on the cut, and a higher price would be possible, which makes it more attractive for producers and businesspeople. To access Group 2 successfully, in terms of product the beef could come from a GM or traditional animal, but the Argentinean origin of the meat must stand out. In this respect, although in this group it is recommended that the meat be marketed based on the cut, retailers must be able to present its origin.

Limitations of this study include the non-probabilistic nature of the sample, which does not allow generalization of the results. At the same time, the sample is not representative of the country's population distribution. Also, all data were self-reported, thus responses may be affected by social desirability and recall or response bias. Another limitation of the study is the small size of the consumer segments, which stands out when the two subsamples are studied separately. Therefore, future investigations must include either larger samples or samples of similar size but where the variables USt and WA are used as a characteristic that identifies the profile of the possible market segments.

CONCLUSIONS

In southern Chile, using a sample of WA and USt, it was found in general that respondents preferred beef from a conventionally bred animal and rejected beef from a cloned or GM animal. Although a comparison of the preferences for technologies associated with animals revealed no differences between WA and USt, the cluster analysis performed separately on both subsamples showed that a greater proportion of WA rejects

GM and cloning, whereas a significant proportion of the USt viewed beef from a GM or cloned animal positively.

Nevertheless, in both subsamples the consumer segments sensitive to the origin of the beef were positive to meat from a GM animal. Therefore, the existence of market segments in which the introduction of beef from a GM or cloned animal could be successful bodes well for the research bodies and companies currently investing in these production technologies. At the same time, the existence of market segments in both subsamples with a strong rejection of cloning and others of GM arise as opportunities for producers and entrepreneurs from the beef industry who can differentiate their product for its natural character (organic production, animal well-being, natural meat, etc.).

From a research point of view, it is important to emphasize the need to study market behavior in segmented form and not to rest on the results of the total sample or the comparison between people who share a characteristic, such as the difference in age in this study.

REFERENCES

1. Adasme-Berríos, C.; Sánchez, M.; Jara-Rojas, R.; Engler, A.; Rodríguez, M.; Mora, M. 2015. Who are the potential consumers of organic fruits and vegetables in Central Chile? A CHAID approach. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 193-208.
2. ADIMARK. 2004. Mapa socioeconómico de Chile. Disponible en [http://www.adimark.cl/medios/estudios/informe_mapa_socioeconomico_de_chile.pdf] [Consulta: 20 de octubre 2005].
3. Aizaki, H.; Sawada, M.; Sato, K. 2011. Consumers' attitudes toward consumption of cloned beef. The impact of exposure to technological information about animal cloning. *Appetite.* 57: 459-466.
4. Brooks, K.; Lusk, J. 2012. Public and private preferences for animal cloning policies. *Journal of Agricultural and Resource Economics.* 37(3): 485-501.
5. Butler, L. J.; Wolf, M. M.; Bandoni, S. 2008. Consumer attitudes toward milk products produced from cloned cows. *Journal of Food Distribution Research.* 39(1): 31-35.
6. Cox, D. N.; Evans G.; Lease, H. J. 2011. The influence of product attributes, consumer attitudes and characteristics on the acceptance of: (1) Novel bread and milk, and dietary supplements and (2) fish and novel meats as dietary vehicles of long chain omega 3 fatty acids. *Food Quality and Preference.* 22: 205-212.
7. de Barcellos, M.; Kügler, J.; Grunert, K. G.; Van Wezemael, L.; Pérez-Cueto, F.; Ueland, Ø.; Verbeke, W. 2010. European consumers' acceptance of beef processing technologies: A focus group study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 11: 721-732.
8. De Steur, H.; Gellynck, X.; Storozhenko, S.; Liqun, G.; Lambert, W.; Van Der Straeten, D.; Viaene, J. 2010. Willingness-to-accept and purchase genetically modified rice with high folate content in Shanxi Province, China. *Appetite.* 54: 118-125.
9. Echávarri, V. 2014. Carne bovina – producción – comercio. Disponible en [http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1404497657Carnebovina.pdf] [Consulta: 23 de septiembre de 2015].
10. Engel, J. F.; Blackwell, R.; Kollat, D. 1978. *Consumer Behavior, Third Edition.* The Dryden Press, Hinsdale, Illinois. 665 p.
11. Erdem, S.; Rigby, D. 2013. Investigating heterogeneity in the characterization of risks using best worst scaling. *Risk Analysis.* 33: 1728-48.
12. European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission [EGE] 2008. *Ethical aspects of animal cloning for food supply.* Opinion, 23. Brussels: EGE.
13. Frewer, L. J.; Bergmann, K.; Brennan, M.; Lion, R.; Meertens, R.; Rowe, G.; Siegrist, M.; Vereijken, C. 2011. Consumer response to novel agri-food technologies: Implications for predicting consumer acceptance of emerging food technologies. *Trends in Food Science & Technology.* 22: 442-456.
14. Grunert, K. G.; Dean, D.; Raats, M.; Nielsen, N.; Lumbers M. 2007. A measure of satisfaction with food-related life. *Appetite.* 49(2): 486-93.
15. Grünwaldt, E. G.; Guevara, J. C. 2012. Rentabilidad de la actividad conjunta de cría y engorde a corral de bovinos para carne en la provincia de Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 44(2): 145-155.
16. Hair, J.; Anderson, R.; Tatham, R., Black, W. 2007. *Análisis Multivariante.* Otero. Quinta edición. Prentice Hall Internacional. Inc., Madrid. 828 p
17. ICF-GHK. 2012. Impact in the EU and third countries of EU measures on animal cloning for food production Final report to DG SANCO: Main Text. Disponible en [[file:///C:/Users/Berta%20Schnettler/Downloads/cloning_final_report_gkh_en%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Berta%20Schnettler/Downloads/cloning_final_report_gkh_en%20(1).pdf)] [Consulta: 5 de octubre 2015].
18. Kuhfeld, W. 2010. *Marketing research methods in SAS. Experimental design, choice, conjoint and Graphical techniques.* SAS 9.2 Edition. Disponible en [<http://support.sas.com/techsup/technote/mr2010.pdf>] [Consulta: 30 de noviembre de 2012].

19. Kumpel, M.; Taalo, B.; Grunert, K. 2014. Social and individual determinants of adolescents' acceptance of novel healthy and cool snack products. *Appetite*. 83: 226-235.
20. Lähteenmäki, L.; Grunert, K.; Ueland, Ø.; Åström, A.; Arvola, A.; Bech-Larsen, T. 2003. Acceptability of genetically modified cheese presented as real product alternative. *Food Quality and Preference*. 13: 523-533.
21. Lusk, J. L.; Jamal, M.; Kurlander, L.; Roucan, M.; Taulman, L. 2005. A meta analysis of genetically modified food valuation studies. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 30: 28-44.
22. Lusk, J.; Crespi, J.; Cherry, B.; McFadden, B.; Martin, L.; Bruce, A. 2015. An fMRI investigation of consumer choice regarding controversial food technologies. *Food Quality and Preference*. 40: 290-220.
23. Novoselova, T.; Meuwissen, M.; Huirne, R. 2007. Adoption of GM technology in livestock production chains: an integrating framework. *Trends in Food Science & Technology*. 18: 175-188.
24. O'Brien, G.; Steward-Knox, B.; McKinley, A.; Vaz de Almeida, M.; Gibney, M. 2012. Perceived risk of metabolic syndrome and attitudes towards fat-modified food concepts among European consumers. *Food Quality and Preference*. 23: 79-85.
25. Rollin, F.; Kennedy, J.; Wills, J. 2011. Consumers and new food technologies. *Trends in Food Science & Technology*. 22: 99-111.
26. Sayadi, S.; Roa, M. C. G.; Requena, J. C. 2005. Ranking *versus* scale rating in conjoint analysis: Evaluating landscapes in mountainous regions in southeastern Spain. *Ecological Economics*. 55(4): 539-550.
27. Schnettler, B.; Miranda, H.; Sepúlveda, J.; Denegri, M. 2012. Consumer preferences of genetically modified foods of vegetal and animal origin in Chile. *Food Science and Technology*. 32(1): 15-25.
28. Schnettler, B.; Miranda, H.; Sepúlveda, J.; Denegri, M.; Mora, M. 2012. Aceptación de aceite transgénico de distinto país de origen en la Región de La Araucanía, Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina*. 44(1): 129-142.
29. Schnettler, B.; Crisóstomo, G.; Mora, M.; Lobos, G.; Miranda, H.; Grunert, K. G. 2014. Acceptance of nanotechnology applications and satisfaction with food-related life in southern Chile. *Food Science and Technology*. 34(1): 157-163.
30. Schnettler, B.; Sepúlveda, N.; Sepúlveda, J.; Orellana, L.; Miranda, H.; Lobos, G.; Mora, M. 2014. Consumer preferences towards beef cattle in Chile: Importance of country of origin, cut, packaging, brand and price. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina*. 46(1): 143-160.
31. 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.
32. Schnettler, B.; Velásquez, C.; Miranda, H.; Lobos, G.; Orellana, L.; Sepúlveda, J.; Miranda, E.; Adasme-Berríos, C.; Grunert, K. G. 2015. Acceptance of a food of animal origin obtained through genetic modification and cloning in South America: a comparative study among university students and working adults. *Food Science and Technology*. 35(3): 570-577.
33. Šorgo, A.; Ambrožič-Dolinšek, J. 2010. Knowledge of, attitudes toward, and acceptance of Genetically Modified Organisms among prospective teachers of Biology, Home Economics, and Grade School in Slovenia. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 38(3): 141-150.
34. The Gallup Organization. 2008. Europeans' attitudes towards animal cloning. Analytical report (Flash Eurobarometer Series 238). European Commission. Disponible en [http://ec.europa.eu/food/food/resources/docs/eurobarometer_cloning_en.pdf] [Consulta: 25 de noviembre 2015].

35. Valdes, R.; Diaz Osorio, J. 2015. The Brazilian beef meat sector into a domestic and international context: a Supply Chain Management (SCM) approach. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 233-239.
36. World Health Organisation (WHO). 2009. 20 questions on genetically modified (GM) foods. Disponible en [<http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/20questions/en/>] [Consulta: 15 de marzo 2014].
37. Yue, C.; Zhao, S.; Kuzma, J. 2015. Heterogeneous consumer preferences for nanotechnology and genetic-modification technology in food products. *Journal of Agricultural Economics.* 66(2): 308-328.
38. Yue, C.; Zhao, S.; Cummings, C.; Kuzma, J. 2015b. Investigating factors influencing consumer willingness to buy GM food and nano-food. *Journal of Nanoparticle Research.* 17: 283.

ACKNOWLEDGMENTS

The results presented correspond to Fondecyt Project 1130165.

Perfiles basados en actitudes hacia los programas de apoyo público de microempresarios rurales de la zona central de Chile

Profiles based on attitudes toward public support programs of rural micro entrepreneurs of central Chile

Sofía Boza, Gonzalo Marcos, Maruja Cortés, Marcos Mora

Originales: *Recepción*: 05/01/2015 - *Aceptación*: 07/10/2015

RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito contribuir a la comprensión de las actitudes de micro y pequeños productores agrícolas de la zona central de Chile ante los programas públicos de apoyo enfocados en el fomento sectorial. Para lo anterior, se llevó a cabo una encuesta a 126 empresarios de la Comuna de Cauquenes, Región del Maule, los cuales participan de un programa de apoyo coordinado por la Municipalidad junto con el Instituto de Desarrollo Agropecuario (Indap). Dicha encuesta se centró en los siguientes temas: identificación de los encuestados, características socio demográficas, métodos productivos y de gestión empresarial, acceso a tecnologías y actitudes sobre los programas de apoyo público sectorial. A los datos obtenidos se les aplicó un análisis descriptivo y de conglomerados no jerárquicos. Mediante lo anterior se identificó la existencia de dos grupos de empresarios, los cuales se denominaron: "escépticos" (30,15%) y "receptivos" (69,85%), con relevantes diferencias tanto en sus actitudes hacia los programas de apoyo público, como en su nivel educativo, productividad predial y acceso a tecnologías. Lo señalado lleva a concluir que, incluso entre productores en condiciones de vulnerabilidad, existen importantes contrastes que deben ser recogidos en el diseño, ejecución y evaluación de los programas.

Palabras clave

Programas de apoyo • actitudes • pequeña agricultura • Chile

Departamento de Economía Agraria, Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de Chile. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago. sofiaboza@u.uchile.cl

ABSTRACT

This research aims to contribute to the understanding of the attitudes related to public support programs of micro and small farmers in the central zone of Chile. For this, it was conducted a survey of 126 entrepreneurs in the Commune of Cauquenes, Maule Region, which participate in a support program coordinated by the Municipality together with the Institute of Agricultural Development (Indap). The survey focused on the following issues: respondents' identification, sociodemographic characteristics, production and business management methods, access to technologies and attitudes about public support programs. It was applied a non-hierarchical cluster analysis to data obtained. The existence of two groups of entrepreneurs was identified: "skeptics" (30.15%) and "receptive" (69.85%), with important differences in their attitudes toward support programs and also in their education level, farm productivity and access to technologies. This leads to the conclusion that, even among producers in vulnerable situations, there are important contrasts that should be incorporated in the design, implementation and evaluation of programs.

Keywords

Support programs • attitudes • small-scale farms • Chile

INTRODUCCIÓN

En Chile, la actividad agrícola, junto con la ganadería y la silvicultura, generan un 2,7% del Producto Interno Bruto según datos referentes a 2014 del Banco Central. Una de las principales características del sector agrícola chileno es que su tejido empresarial está conformado casi en su totalidad por empresas de reducido tamaño. En este sentido, segmentando las explotaciones agrícolas censadas según su volumen anual de ventas conforme a los criterios del Ministerio de Economía ¹, un 94,6% del total podría considerarse como microempresas, mientras que un 4,9% serían pequeñas empresas (2).

La participación de las microempresas en el sector agrícola supera las cifras para la economía en su conjunto, de un 78,26% para 2008 (19).

Esta disparidad entre una minoría de medianas y grandes empresas agrícolas enfocadas a la exportación, con la preponderante presencia de micro y pequeñas explotaciones familiares, deriva en una acusada "dualidad" en la producción nacional, la cual genera significativos contrastes en las realidades que se deben enfrentar (24). De hecho, como recogen Martínez, Namdar-Iran & Sotomayor (2014), incluso al interior

1 Se determina como microempresa aquella cuyas ventas anuales alcanzan hasta las 2.400 Unidades de Fomento (UF); pequeña empresa aquella entre 2.401 UF y 25.000 UF, mediana empresa entre 25.000 UF y 100.000 UF, y gran empresa a aquella que vende más de 100.000 UF (1 UF = 39,34 USD. Fuente: Banco Central de Chile, 04-12-2014).

de la "agricultura familiar" se podrían diferenciar dos segmentos: uno de ellos denominado "multiactivo", dado que los ingresos de la agricultura no son lo suficientemente altos como para evitar la dedicación a otras actividades económicas, y otro "empresarial", con un valor bruto de la producción hasta los 100.000 dólares.

El primer grupo concentraría un 61% de la pequeña agricultura chilena y el segundo grupo abarcaría al 39% restante.

A nivel de distribución territorial, las zonas centro-sur y sur del país, entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos, acumulan la mayor parte de micro y pequeños productores agrícolas. Dentro de lo anterior, la Región del Maule es una de las más significativas.

Conforme a datos del Servicio de Impuestos Internos para 2012, el 27,8% de las empresas de la región se dedica a la agricultura, generando el 30,7% del empleo absoluto. De ellas casi la totalidad son micro y pequeñas empresas (14).

Considerando la configuración sectorial señalada, en Chile la política agrícola se ha caracterizado por impulsar el apoyo a los micro y pequeños productores mediante la capacitación, asistencia técnica y sustento a la inversión (28). De hecho, dentro de las entidades públicas chilenas dependientes del Ministerio de Agricultura ligadas al fomento productivo, aquella que concentra un mayor nivel de financiamiento desde inicios de los años noventa es el Instituto de Desarrollo Agropecuario, Indap (19).

Esta institución se enfoca efectivamente en el desarrollo de la micro y pequeña agricultura, estableciendo límites máximos relativos a superficie y valor de activos a sus usuarios².

En 2013, Indap atendía a 160 mil productores de un universo total estimado de 270 mil posibles beneficiarios (31).

En este contexto, en los últimos años la utilización de técnicas estadísticas, como los modelos cuasi experimentales, para definir el impacto sobre sus beneficiarios atribuible a los programas públicos destinados al fomento agrícola se ha vuelto más frecuente (5, 7, 10). De hecho, también algunos de los programas de Indap como el Programa de Desarrollo Local, el Programa de Desarrollo de Comunas Pobres y el Programa de Crédito, han sido sometidos a este tipo de evaluación (6, 21).

No obstante, en la medida que programas de apoyo productivo de instituciones como Indap contemplen al productor como sujeto activo, los resultados obtenidos mediante los mismos tendrán claramente como uno de sus condicionantes principales las actitudes de estos. La afirmación anterior encuentra sustento en el contexto de la psicología social dentro del conocido modelo ABC. Conforme al mismo, los componentes estructurales que caracterizan la actitud de un individuo frente a un determinado objeto son: el afectivo (sentimientos), el cognoscitivo (creencias) y el conductual (comportamiento). Es decir, el comportamiento de las personas no solamente se basaría en sus actitudes, sino que sería parte de ellas.

-
- 2 Indap declara como fines institucionales aportar a la superación de la pobreza, la sostenibilidad y la competitividad de la agricultura chilena. Los criterios para que un productor pueda ser usuario de Indap son: realizar la explotación de una superficie no mayor a 12 hectáreas de riego básico (HRB), una cantidad de activos no superior a las 3.500UF y que los ingresos que perciba provengan principalmente de la actividad agrícola.

Teniendo en cuenta lo señalado, en la presente investigación se considera como definición de actitud aquella presentada por Quiles, Marichal & Betancort (1998), quienes la caracterizan como una "reacción evaluativa" con efectos directos en la conducta del individuo. Por ello, identificar y analizar las actitudes de los productores ante las acciones de política pública realizadas o por realizar, constituye una relevante herramienta en su diseño, monitoreo y evaluación.

Algunas de las investigaciones en este sentido utilizan técnicas multivariantes, como en Kotevska, Martinovska-Stojcheska, Öhlmér & Dimitrievski (2013), donde se establecieron cuatro clusters de productores dependiendo de sus actitudes hacia la adhesión de Macedonia a la Unión Europea; o como en Sepúlveda, Maza, Pardos, Fantova & Mantecón (2010) donde se aplicó una metodología similar para definir las actitudes de productores de cordero españoles ante las medidas de protección de las denominaciones de origen.

Para el caso específico de Chile se cuenta con los estudios de Mora, Lerdón, Torralbo, Salazar, Boza & Vásquez (2012), quienes obtienen en productores lecheros del sur de Chile cuatro segmentos en función de la actitudes hacia las TIC y Mora, Sáenz, Cortés & Sanhueza (2013), quienes obtienen dos segmentos en productores de tunas según actitudes hacia la innovación y exportación.

Sin embargo, pese a la existencia de trabajos previos, este tipo de análisis ha sido tradicionalmente mucho más habitual en la realización de estudios de mercado, con el propósito de establecer elementos que permitan prever el comportamiento del consumidor (1, 26).

Objetivo

Contribuir a la comprensión de las actitudes de micro y pequeños productores agrícolas de la zona central de Chile, concretamente de la comuna de Cauquenes, Región del Maule, ante los programas públicos de apoyo enfocados en el fomento del sector. La consecución del objetivo señalado se espera ayude a contrastar la hipótesis que subyace a la presente investigación, relativa a que existe una marcada heterogeneidad al respecto. En este sentido, se considera que al tratarse de empresas de muy reducida escala, la transmisión entre actitudes y conductas efectivas es aún más directa, lo que incrementa el interés del análisis.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio contempló la aplicación de una encuesta a micro y pequeños productores agrícolas de la Comuna de Cauquenes, Región del Maule, participantes del Programa de Desarrollo Local, Prodesal, realizado en convenio entre Indap y el Departamento de Desarrollo Rural de la Municipalidad de Cauquenes. Dicho programa es destinado al apoyo de la pequeña agricultura y/o campesina del país. Durante su participación en el programa los beneficiarios optan a recibir un incentivo de hasta un 95% del valor de sus proyectos de inversión y asesoría. Por otra parte, el interés por este lugar de estudio se debe a que los productores de la Comuna de Cauquenes revisten características asociadas a condiciones de vulnerabilidad (18). En este sentido, Cauquenes (35°58'00" S, 72°21'00" O) cuenta con una población de 42.953 habitantes, de los cuales un 38,4% está por encima de los 45 años, lo cual sugiere un importante

envejecimiento derivado de la migración de los jóvenes hacia otras zonas en busca de mayores oportunidades económicas. De hecho, según datos de la encuesta CASEN 2011 del Ministerio de Desarrollo Social de Chile, un 24% de la población de la comuna se encontraba por debajo de la línea de pobreza, cifra mayor a la registrada a nivel nacional (14,4%).

Por otra parte, según datos de la Biblioteca del Congreso Nacional, el 86% de las empresas en Cauquenes son consideradas micro. De ellas, un 32% se dedica a los rubros agrícola, pesquero y artesanal, en los cuales pese a esta importante participación, la comuna ha experimentado una disminución progresiva del número de ocupados.

La selección de la muestra para la aplicación de las encuestas fue realizada mediante muestreo aleatorio simple para poblaciones finitas, dando como resultado un tamaño de 126 individuos (IC=95%; e=8%). El cuestionario se conformó de preguntas relativas a: identificación de los encuestados, características socio demográficas de los individuos, métodos productivos y de gestión empresarial, acceso a equipamiento productivo y a TIC, y afirmaciones relativas a actitudes referentes a los programas de apoyo público sectorial. Las respuestas a esta última categoría se formularon conforme a una escala Likert de cinco niveles (en este caso, 1: "totalmente en desacuerdo", 2: "en desacuerdo", 3: "indiferente", 4: "de acuerdo", y 5: "totalmente de acuerdo").

La información obtenida de la encuesta fue tratada, en primer lugar, mediante técnicas de análisis descriptivo. Tras ello, sobre los resultados referentes a las actitudes de los productores, se aplicaron técnicas de análisis multivariante.

Se empleó un análisis de conglomerados jerárquicos para definir el número de grupos a asignar, los cuales quedaron especificados como dos. Considerando este resultado, se aplicó un análisis de conglomerados no jerárquicos (k-medias) para la definición de perfiles, el cual se acompañó de un ANOVA ($\alpha < 0,05$) para identificar las actitudes diferenciadoras entre grupos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis descriptivo de la muestra

En primer lugar, en cuanto al género, la muestra estuvo compuesta por 60 hombres y 66 mujeres. Esta importante presencia femenina en la jefatura de la explotación predial, es un fenómeno que se ha consolidado en Chile en las últimas décadas, sobre todo para el caso de la pequeña agricultura. De hecho, entre 1997 y el 2007 las explotaciones con jefatura femenina pasaron de un 21% a un 30% a nivel nacional (22).

Por otro lado, la encuesta arrojó que el promedio de edad de los microempresarios era de 54,1 años, con un mínimo de 18 años y un máximo de 88 años de edad. Dichos resultados se asimilan a los obtenidos por Muñoz, Cortés & Boza (2014), para usuarias del Programa "Formación y Capacitación para Mujeres Campesinas" de Indap en la Región Metropolitana, así como por Vera & Moreira (2009) para el caso de microempresarios agrícolas en el sur de Chile. Estos últimos sugieren que el relativo envejecimiento podría deberse, entre otras causas, a la incesante migración de los jóvenes desde el campo a las ciudades.

De hecho, de acuerdo con datos del Banco Mundial para 2012, la población rural chilena ha experimentado un decrecimiento

promedio de un 1,3% anual en las últimas dos décadas, a diferencia de la urbana que aumentó un 1,0% anual en el mismo período.

En lo que respecta al nivel educacional, aproximadamente un 73% de los encuestados solo había cursado educación básica. De hecho, un 7,9% del total se declaraba analfabeto y solo un 5,06% de los encuestados contaba con estudios de nivel superior técnico o profesional. Estos resultados, unidos al relativo envejecimiento de la población de estudio, resultan coherentes con los datos obtenidos por la encuesta CASEN 2011, donde se observa que en Chile para las personas en los tramos de edad más elevada, el número de años de escolaridad promedio es menor, brecha la que se acentúa en los quintiles de más bajos ingresos, como también en las zonas rurales.

Por otro lado, en lo que respecta a su producción, la mayor parte de los encuestados se dedicaba a la horticultura (56,3%) o a la fruticultura (20,6%). Al preguntarles sobre la estacionalidad de sus labores se obtuvo que el 81,7% de los microempresarios trabaja en su emprendimiento de forma permanente, en contraste con el 18,3% que se dedica adicionalmente a otras actividades, siendo la más frecuente el trabajo como temporero agrícola.

Referente a los ingresos derivados de sus microempresas, en promedio estas les generan \$243.324 pesos mensuales (USD 389³), siendo la dedicación de 40,4 horas semanales. Los datos anteriores contrastan con el hecho de que el promedio de hectáreas que poseían era 53,9. No obstante, esto podría ser explicado porque la provincia de Cauquenes presenta seria erosión en sus suelos, así como una escasez hídrica severa en la época estival, lo que tiende a mermar la productividad (20).

Con respecto a los canales de comer-

cialización, el 77% de los encuestados vende sus productos en las ferias libres de Cauquenes y el resto, directamente en su predio. Estos resultados se condicen con lo señalado por Tejada (2013) para el caso de Chile, donde se destaca que los principales proveedores de las ferias libres son los pequeños productores agrícolas, siendo lo más frecuente el uso de intermediarios (acopiadores o feriantes).

En lo relativo a las capacidades técnicas y acceso a TIC, los principales resultados fueron que el 73% de los encuestados afirmaba poseer equipos específicos para su producción, aunque no se explicitó el nivel tecnológico de los mismos.

Por otra parte, el 88,1% manifestó no tener teléfono fijo en su empresa, pero un 91,3% señaló que sí utilizaba celular. En el mismo contexto, el 80% de los microempresarios no poseían computadora en su negocio, lo que concuerda con que un 85% no tuviera acceso a internet, dificultando el uso de la red para la realización de trámites, la compra-venta de insumos y productos o la obtención de información y postulación a programas públicos. Esta escasa penetración de las TIC sería coherente, dado el bajo nivel educativo de los encuestados, con diversos estudios los cuales definen una relación directa entre el nivel de formación del responsable empresarial y la implantación efectiva de las TIC en su organización (3, 8, 25, 32). Así mismo, existen otras variables entre las observadas que podrían también influir, como el bajo nivel de ingresos generados por las empresas analizadas, dado que el acceso a las TIC supone la realización de inversiones.

3 Tipo de cambio 1USD = 609,60 CLP (Banco Central de Chile, 04-12-2014).

Tabla 1. Características generales de los productores y empresas consideradas
Table 1. Main characteristics of producers and enterprises considered.

Preguntas	Frecuencia	Porcentaje
Género		
Hombre	60	47,6
Mujer	66	52,4
Total	126	100
Rango de edad		
Entre 18 y 25 años	3	2,38
Entre 26 y 35 años	15	11,9
Entre 36 y 45 años	19	15,08
Entre 46 y 55 años	24	19,05
Entre 56 y 65 años	40	31,75
Entre 66 y más	25	19,84
Total	126	100
Nivel de educación formal		
Educación Básica	92	73,02
Educación Media	28	22,22
Educación Técnica	3	2,38
Educación Universitaria	3	2,38
Total	126	100
Superficie total del predio (ha)		
Menor o igual a 5	59	46,83
Más de 5 y menor o igual a 10	13	10,32
Más de 10 y menor o igual a 20	14	11,11
Más de 20 y menor o igual a 50	27	21,43
Más de 50	13	10,32
Total	126	100
Rubro principal		
Hortícola	71	56,35
Frutícola	26	20,63
Avícola y ganadero	8	6,35
Apícola	5	3,97
Forestal	5	3,97
Otros	11	8,73
Total	126	100
Ingresos mensuales generados		
Menor o igual a 50.000	10	7,94
Más de 50.000 y menor o igual a 100.000	29	23,02
Más de 100.000 y menor o igual a 200.000	52	41,27
Más de 200.000 y menor o igual a 300.000	8	6,35
Más de 300.000 y menor o igual a 400.000	13	10,32
Más de 400.000 y menor o igual a 500.000	2	1,59
Más de 500.000	12	9,52
Total	126	100

Sin embargo, esta baja utilización de las TIC en los micro empresarios agrícolas de Cauquenes, difiere con los resultados encontrados por Mora *et al.* (2012), para pequeños y medianos productores lecheros en el sur de Chile, donde estos declaraban en un 94,1% poseer algún tipo de equipo computacional y en un 73,5% tener acceso a internet mediante red fija, el cual utilizaban mayoritariamente en sus negocios.

Valoración de afirmaciones referentes a actitudes

Como fue señalado en la metodología, la encuesta realizada contuvo un panel de afirmaciones relativas a actitudes frente a los programas de apoyo público a ser puntuadas en una escala de Likert de 5 niveles, siendo 1 ("totalmente en desacuerdo") y 5 ("totalmente de acuerdo") por los productores consultados. En este contexto, las afirmaciones que suscitaron un mayor nivel de acuerdo fueron: "La sustentabilidad ambiental debería ser requisito de acceso al apoyo público" (media 4,11); "El apoyo del sector público debe ser principalmente a las pequeñas empresas" (4,08) y "El apoyo al emprendimiento debe coordinarse conjuntamente (Estado, GORES-Gobiernos Regiones- y Municipalidades)" (3,77). A continuación, aparecieron afirmaciones relativas a la instrumentalización de las políticas de apoyo: "Los programas públicos deben basarse principalmente en apoyo técnico y capacitación" (3,76) y "Los programas públicos deben basarse principalmente en subvenciones monetarias directas" (3,75), así como relativas a las condiciones de acceso y renovación: "Los requisitos de acceso a los programas de apoyo públicos son en general adecuados" (3,71) y "La renovación de un beneficio público debería estar sujeta al cumplimiento de objetivos" (3,65).

Asimismo, entre las más positivamente evaluadas se encuentran una serie de afirmaciones con las que se trató de captar las actitudes de los encuestados sobre los objetivos centrales que los programas de apoyo según ellos debieran priorizar. En este sentido, aclarar que las afirmaciones consideradas a continuación no fueron expuestas a los encuestados de manera excluyente, dada la consideración de que un mismo programa puede dar prioridad a más de un objetivo, además de evitar la utilización de un método de consulta distinto al aplicado para el resto del panel de afirmaciones, lo que pudiera generar confusión.

Los resultados, por orden de valoración fueron: "capacitación técnica" (3,69), "capacitación en gestión" (3,67), "formalización de la empresa" (3,66), "capacitación en marketing" (3,63), "transferencia de tecnología" (3,57), "fomento de la asociatividad" (3,56), "capacitación en uso de TIC" (3,55) y "acceso a financiamiento" (3,52).

Por su parte, las apreciaciones sobre la necesidad de asociarse para acceder a los programas públicos ("Estar asociado a otros empresarios debería ser requisito de acceso a apoyo público"), la importancia de estos para la trayectoria de las empresas ("El apoyo del sector público ha sido fundamental para el desarrollo de mi empresa") o el nivel de dificultad de los procedimientos de postulación ("Los trámites para la postulación a programas públicos son en general sencillos") no consiguieron, entre otras, un nivel de acuerdo relevante.

Por tanto, se puede ver cómo los productores encuestados son especialmente favorables a programas de apoyo que revistan una cierta complejidad en cuanto a requisitos de acceso (sustentabilidad) y continuidad (cumplimiento de objetivos),

niveles de gobierno implicados en su coordinación, enfoque prioritario y contenidos. Lo anterior sugiere un alto nivel de exigencia por parte de los beneficiarios potenciales de dichos programas, no solo con el actuar del sector público, sino además con la respuesta que ellos y sus pares deben dar una vez dentro de los mismos para seguir siendo apoyados. Esto último facilitaría la inclusión en los programas de condiciones preestablecidas para la recepción (y renovación) de beneficios. Un ejemplo relevante en este sentido es el proceso de reconversión experimentado por la Política Agraria Común europea desde finales de los años noventa, mediante medidas como el "desacople" entre ayudas y producción (Reg. (CE) 1782/2003) o la creación del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (Reg. (CE) 1290/2005) (4). A nivel chileno, se encuentra los modelos de *spin off* apoyados por capital semilla que gestiona la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

Asimismo, los encuestados son críticos con los resultados que los programas actuales han tenido en sus empresas. Lo anterior es coherente con la evaluación realizada en 2010 del Programa de Desarrollo Local de Indap, ya referida en la introducción.

Dicho estudio evidenció que, si bien los beneficiarios mostraban un alto nivel de satisfacción con los distintos servicios recibidos, no se podía demostrar un impacto significativo de los mismos en sus ingresos o en su productividad (13, 21).

Los resultados señalados se condicen con los encontrados por Guzmán (2014) para beneficiarios del mismo programa en la Región Metropolitana.

Identificación de grupos homogéneos de productores agrícolas en función de sus actitudes

Se identificó dos grupos homogéneos de productores, los cuales se denominaron como: "escépticos" (30,15%) y "receptivos" (69,85%).

El primer segmento se caracteriza por reunir a productores que se muestran disconformes con aspectos esenciales de los procesos de "aproximación" a los programas públicos, como el nivel de dificultad de los trámites de postulación, la oportunidad de los requisitos impuestos o la accesibilidad a la información.

Asimismo, se muestran reacios a que el apoyo público tenga como propósito incidir en el funcionamiento de sus empresas, al declararse en desacuerdo por considerar como prioritarios objetivos tales como la transferencia tecnológica, la capacitación en TIC, la capacitación técnica o la formalización de la empresa. De hecho preferirían que los programas públicos se basaran en subvenciones económicas más que en apoyo técnico.

Por otra parte, no están de acuerdo con que el acceso a los programas públicos esté supeditado a la asociatividad o al cumplimiento de objetivos, aunque se muestran un poco más favorables a requisitos relacionados con la sustentabilidad ambiental.

Finalmente, no creen que el apoyo que los emprendedores reciben del sector público sea suficiente, ni que este haya supuesto tampoco un impacto fundamental en sus propias empresas.

En lo que respecta al segmento de productores "receptivos", estos tienen en general una visión favorable hacia la accesibilidad a los programas públicos de apoyo, así como a la información disponible al respecto.

No obstante, el nivel de acuerdo es menor en la valoración del impacto de estos en sus propias empresas o que los trámites de postulación puedan ser considerados como "sencillos".

En lo referente a los objetivos que deben ser perseguidos por los programas, existe un relativamente alto nivel de consenso para todas las categorías señaladas, siendo de manera específica valoradas conforme al siguiente orden: "capacitación técnica" (4,11), "transferencia de tecnología" (4,11), "formalización de la empresa" (4,03), "capacitación en uso de TIC" (3,95), "capacitación en marketing" (3,89), "fomento de la asociatividad" (3,85), "capacitación en gestión" (3,82) y "acceso a financiamiento" (3,77). Asimismo, en este segmento es mayor el consenso relativo a que los programas públicos se basen en apoyo técnico y capacitaciones más que en subvenciones monetarias, priorizando en todo caso a las pequeñas empresas.

Por otra parte, existe acuerdo en que el apoyo público se condicione a la sustentabilidad ambiental y al cumplimiento de objetivos, pero no tanto a estar asociado con otros empresarios.

Finalmente, existe un consenso mayor en que los programas públicos sean coordinados de manera conjunta por los distintos niveles de gobierno que de forma individual por solamente uno de los propuestos en la encuesta.

Con respecto a las divergencias entre los segmentos identificados relativas a sus actitudes, se observa que las únicas afirmaciones que no presentarían diferencias significativas se refieren a la inclusión de subsidios dentro del apoyo público ("Los programas públicos deben

basarse principalmente en subvenciones monetarias directas"), y a que los programas sean coordinados desde un único nivel de gobierno, en lugar de conjuntamente entre las distintas entidades.

Por último, se consideró relevante realizar una síntesis de las principales características de los individuos en cada uno de los segmentos identificados. De lo anterior se revelaron algunas diferencias de interés entre ambos. Por ejemplo, el promedio de edad resultó cuatro años superior en los individuos del segmento 1 (productores "escépticos") que en los del segmento 2 (productores "receptivos"). El nivel educativo fue más bajo en el segmento 1 que en el 2, con un 90,9% de productores que solamente habían cursado enseñanza básica frente a un 66,7%. El promedio mensual de ingresos derivados de sus microempresas también fue marcadamente menor en el segmento 1 que en el 2, con 190.527 y 262.062 pesos respectivamente. Sin embargo, el tamaño promedio predial fue mucho mayor en el caso del segmento 1 que en el 2, con 115,16 hectáreas frente a 32,22. En este mismo contexto, si bien para ambos segmentos los principales rubros son el hortícola y el frutícola, la participación relativa del primero es mayor en el segmento 1 (63,6% frente a 53,8%) y la del segundo en el segmento 2 (15,2% frente a 22,6%). Otro punto en el cual se encontraron diferencias notables fue en lo relacionado con acceso a TIC. En la disposición de computadora, fija o portátil, solamente un productor dentro del segmento 1 afirmó tenerla, frente a 21 y 17 productores respectivamente en el segmento 2. Lo anterior se replica de manera similar en lo relativo a acceso a internet.

Tabla 2. Valoración de afirmaciones relativas a actitudes frente a los programas de apoyo público para el total de la muestra y según segmentos.

Table 2. Assessment of statements about attitudes towards public support programs by the total sample and according to segments.

Afirmación	Promedio			ANOVA ($\alpha < 0,05$)	
	Total N = 126	Sgto. 1 N = 33	Sgto. 2 N = 93	F	Sig.
La sustentabilidad ambiental debería ser requisito de acceso a apoyo público	4,11	3,73	4,25	5,524	0,020
El apoyo del sector público debe ser principalmente a las pequeñas empresas	4,08	3,97	4,12	0,326	0,000
El apoyo al emprendimiento debe coordinarse conjuntamente (Estado, GORES y Municipalidades)	3,77	4,06	3,67	1,917	0,159
Los programas públicos deben basarse principalmente en apoyo técnico y capacitación	3,76	3,03	4,02	18,213	0,000
Los programas públicos deben basarse principalmente en subvenciones monetarias directas	3,75	3,7	3,77	0,085	0,771
Los requisitos de acceso a los programas de apoyo públicos son en general adecuados	3,71	2,64	4,1	35,439	0,000
Los programas públicos deben priorizar por sobre otros objetivos mi capacitación técnica	3,69	2,52	4,11	58,387	0,000
Los programas públicos deben priorizar por sobre otros objetivos mi capacitación en gestión	3,67	3,24	3,82	6,086	0,015
Los programas públicos deben priorizar por sobre otros objetivos la formalización de la empresa	3,66	2,61	4,03	35,542	0,000
La renovación de un beneficio público debería estar sujeta al cumplimiento de objetivos	3,65	2,79	3,96	22,516	0,000
Los programas públicos deben priorizar por sobre otros objetivos mi capacitación en marketing	3,63	2,88	3,89	14,339	0,000
Los programas públicos deben priorizar por sobre otros objetivos la transferencia de tecnología	3,57	2,06	4,11	86,201	0,000
Los programas públicos deben priorizar por sobre otros objetivos el fomento de la asociatividad	3,56	2,76	3,85	20,010	0,000
Los programas públicos deben priorizar por sobre otros objetivos mi capacitación en uso de TIC	3,55	2,42	3,95	34,163	0,000
Los programas públicos deben priorizar por sobre otros objetivos el acceso a financiamiento	3,52	2,82	3,77	18,022	0,000
La información sobre los programas públicos disponibles para mi empresa es accesible	3,42	2,12	3,88	58,066	0,000
El apoyo al emprendimiento debe coordinarse 100% a nivel del Estado	3,22	2,88	3,34	3,583	0,061
El apoyo que el sector público ofrece a los emprendedores es suficiente	3,21	2,3	3,54	23,719	0,000
Las grandes empresas agropecuarias no deben ser beneficiarias de ningún apoyo público	3,10	2,76	3,22	1,757	0,000
El apoyo al emprendimiento debe coordinarse 100% desde los GORES	3,08	2,97	3,12	0,572	0,451
El apoyo del sector público ha sido fundamental para el desarrollo de mi empresa	3,04	2,55	3,22	5,599	0,020
Estar asociado a otros empresarios debería ser requisito de acceso a apoyo público	3,01	2,42	3,22	7,216	0,008
Los trámites para la postulación a programas públicos son en general sencillos	2,99	1,97	3,35	28,650	0,000
El apoyo al emprendimiento debe coordinarse 100% desde las Municipalidades	2,92	2,7	3	1,302	0,256

Tabla 3. Caracterización general de los segmentos identificados.**Table 3.** General characterization of identified clusters.

Preguntas	Sgto. 1		Sgto. 2	
	Casos	%	Casos	%
Género				
Hombre	17	51,52	43	46,24
Mujer	16	48,48	50	53,76
Total	33	100	93	100
Rango de edad				
Entre 18 y 25 años	0	0	3	3,23
Entre 26 y 35 años	3	9,09	12	12,9
Entre 36 y 45 años	4	12,12	15	16,13
Entre 46 y 55 años	7	21,21	17	18,28
Entre 56 y 65 años	11	33,33	29	31,18
Entre 66 y más	8	24,24	17	18,28
Total	33	100	93	100
Nivel de educación formal				
Educación Básica	30	90,91	62	66,67
Educación Media	2	6,06	26	27,96
Educación Técnica	1	3,03	2	2,15
Educación Universitaria	0	0	3	3,23
Total	33	100	93	100
Superficie total del predio (ha)				
Menor o igual a 5	12	36,36	47	50,54
Más de 5 y menor o igual a 10	6	18,18	7	7,53
Más de 10 y menor o igual a 20	5	15,15	9	9,68
Más de 20 y menor o igual a 50	6	18,18	21	22,58
Más de 50	4	12,12	9	9,68
Total	33	100	93	100
Rubro principal				
Hortícola	21	63,64	50	53,76
Frutícola	5	15,15	21	22,58
Avícola y ganadero	2	6,06	6	6,45
Apícola	1	3,03	4	4,3
Forestal	1	3,03	4	4,3
Otros	3	9,09	8	8,6
Total	33	100	93	100
Ingresos mensuales generados				
Menor o igual a 50.000	5	15,15	5	5,38
Más de 50.000 y menor o igual a 100.000	6	18,18	23	24,73
Más de 100.000 y menor o igual a 200.000	15	45,45	37	39,78
Más de 200.000 y menor o igual a 300.000	1	3,03	7	7,53
Más de 300.000 y menor o igual a 400.000	3	9,09	10	10,75
Más de 400.000 y menor o igual a 500.000	2	6,06	0	0
Más de 500.000	1	3,03	11	11,83
Total	33	100	93	100

CONCLUSIONES

El objetivo establecido en la presente investigación era contribuir a la comprensión de las actitudes de micro y pequeños productores agrícolas de la zona central de Chile ante los programas públicos de apoyo enfocados en el fomento del sector. Para ello se contempló como área específica de estudio la comuna de Cauquenes, Región del Maule.

En este sentido, considerando los resultados de las encuestas realizadas, así como de las técnicas utilizadas para su procesamiento y análisis, es posible concluir en primer lugar que se evidencia la existencia de una importante "dualidad" entre los productores consultados, la cual se manifiesta tanto en sus actitudes hacia las políticas de apoyo público como en su caracterización individual y de sus empresas.

Por una parte, existe un segmento de microempresarios con un mayor promedio de edad, menor nivel de educación formal y de productividad (en términos de ingresos por hectárea) y muy bajo acceso a tecnologías como las TIC. Esto contrasta con un segmento más numeroso de microempresarios, relativamente más jóvenes y cualificados, con mayor acceso a tecnologías y significativamente más productivos, los cuales muestran una actitud positiva hacia los programas de apoyo sectorial. Estos resultados recuerdan la ya mencionada

dicotomía entre usuarios multiactivos y empresariales reconocida por el propio Indap y reflejada en el foco de sus distintos programas (11,13).

No obstante, al menos en este caso, se evidencia que incluso dentro de un grupo de usuarios que es tratado por Indap como multiactivo dadas sus condiciones de vulnerabilidad, existen marcadas diferencias. Estas obviamente pueden condicionar la capacidad (e intención) de apropiamiento de los distintos tipos de facilidades que los programas ofrecen, influyendo por último en el impacto global de los mismos.

Lo anterior debe ser considerado por Indap (y otras instituciones afines) en el planteamiento futuro del contenido, público objetivo y criterios de monitoreo y evaluación de sus programas.

En este contexto, concretamente en el caso de los productores pertenecientes al primer segmento ("escépticos"), estos se encuentran en condiciones especialmente difíciles para conseguir una efectiva mejora de sus ingresos mediante este programa público o cualquier otro similar. Para ellos es necesario un trabajo previo relacionado con el desarrollo de habilidades blandas, de formación y autogestión de manera que les permitan aprovechar de mejor manera las capacitaciones y ayudas que les brinda un programa de apoyo público, previo o paralelo al acceso al mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adasme-Berríos, C.; Sánchez, M.; Jara-Rojas, R.; Engler, A.; Rodríguez, M.; Mora, M. 2015. Who are the potential consumers of organic fruits and vegetables in Central Chile? A CHAID approach. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 193-208.
2. Aedo, M.; Alvear, J. J. 2010. *Micro y pequeña empresa agropecuaria en Chile: Criterios para una focalización eficiente de las políticas para el sector de acuerdo al VII Censo Agropecuario.* Santiago, Chile: Indap.

3. Álvarez, J.; Nuthall, P. 2005. Adoption of computer based information systems. The case of dairy farmers in Canterbury, NZ, and Florida, Uruguay. *Computers and Electronics in Agriculture*. 50(1): 48-60.
4. Boza, S. 2013. Incidencia de las políticas públicas en la evolución del sector agrícola ecológico: el caso de Andalucía, España. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 10(72): 291-310.
5. Del Carpio, X.; Maredia, M. 2009. Measuring the impacts of agricultural projects: A meta-analysis of the evidence. Working paper, Independent evaluation group, World Bank. Washington D. C.: World Bank.
6. Donoso, G.; Melo, Ó.; Negrete, E. 2010. Participation determinants and impact assessment of the Institute of Agricultural Development (INDAP) credit program. *Ciencia e Investigación Agraria*. 37(2): 87-99.
7. FAO, 2010. The use of monitoring and evaluation in agriculture and rural development projects. Roma: FAO/World Bank.
8. Goldfarb, A.; Prince, J. 2008. Internet adoption and usage patterns are different: Implications for the digital divide. *Information Economics and Policy*. 20(1): 2-15.
9. Guzmán, F. 2014. Evaluación de impacto económico del programa Prodesal en usuarios de comunas del sur oriente de la Región Metropolitana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.
10. IEG, 2011. Impact Evaluations in Agriculture: an assessment of the evidence. Washington D.C.: World Bank.
11. Indap, 2014. Lineamientos estratégicos 2014-2018: Por un Chile rural inclusivo. Santiago, Chile: Indap.
12. Kotevska, A.; Martinovska-Stojcheska, A.; Öhlmér, B.; Dimitrievski, D. 2013. Attitude of Macedonian farmers towards EU accession. *Agroeconomia Croatica*. 3(1): 9-17.
13. Martínez, H.; Namdar-Iran, M.; Sotomayor, O. 2014. Chile: más de 50 años de apoyo a la agricultura familiar campesina. En Sabourin, Eric, Samper, Mario & Sotomayor, Octavio (coord.): Políticas públicas y agrícolas familiares en América Latina y el Caribe: Balance, desafíos y perspectivas. Santiago, Chile: CEPAL. 103-124 p.
14. MINECON. 2014. VII Región del Maule. Disponible en: <http://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2014/05/VII-Regi%C3%B3n-del-Maule.pdf>. Fecha de consulta: 27-11-14.
15. Mora, M.; Lerdón, J.; Torralbo, L.; Salazar, J.; Boza, S.; Vásquez, R. 2012. Definición de las brechas en el uso de las TIC's para la innovación productiva en PYMES del sector pecuario chileno. *Journal of Technology Management & Innovation*. 7(2): 171-183.
16. Mora, M.; Cortes, M.; Sanhueza, C.; Sáenz, C. 2013. Innovation requirements for the development of cactus pear for export: A new item to be incorporated to the Chilean fruit export sector. *Acta Horticulturae*. 995: 229-236.
17. Muñoz, T.; Cortés, M.; Boza, S. 2014. Estudio de las características y situación de las mujeres campesinas beneficiarias de programas públicos de apoyo en la Región Metropolitana, Chile. *Actas del Segundo Congreso Internacional de Estudios del Desarrollo*. Huelva, España: Universidad de Huelva.
18. 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.
19. OIT & Sercotec. 2010. La situación de la micro y pequeña empresa en Chile – 2010. Santiago, Chile: OIT.
20. Pino, C. A. 2012. Estudio de sostenibilidad de sistemas vitícolas en transición agroecológica en la provincia de Cauquenes. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.
21. Pontificia Universidad Católica de Chile. 2010. Evaluación de impacto. Informe final: Programa de Desarrollo Local (PRODESAL) y Programa de Desarrollo de Comunas Pobres (PRODECOP). Santiago, Chile: PUC.
22. Qualitas. 2010. Estudio de caracterización de la pequeña agricultura a partir del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal. Santiago, Chile: Qualitas/Indap.

23. Quiles, M. N.; Marichal, F.; Betancort, V. 1998. Las actitudes sociales. En Quiles M. N. (Editor), *Psicología Social: Procesos Interpersonales*. Madrid. 131-159 p.
24. Rios, S.; Torres, G. 2014. El sector agropecuario en la región de Los Lagos y el paradigma "Chile potencia alimentaria": desafíos para la política agraria nacional. *Mundo Agrario*, 15 (29).
25. Rodrigues, M. 2010. TIC y agricultura en América Latina. Presentación realizada en: Mesa TIC Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
26. 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.
27. Sepúlveda, W.; Maza, M.; Pardos, L.; Fantova, E.; Mantecón, Á. 2010. Farmers' attitudes towards lamb meat production under a Protected Geographical Indication. *Small Ruminant Research*. 94: 90-97.
28. Sotomayor, O.; Rodríguez, A.; Rodrigues, M. 2011. Competitividad, sostenibilidad e inclusión social en la agricultura. *Nuevas direcciones en el diseño de políticas en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: CEPAL.
29. Tejada, H. 2014. Venta directa en ferias locales: el proceso de modernización de las ferias libres en Chile. En: *Agricultura familiar y circuitos cortos: Nuevos esquemas de producción, comercialización y nutrición*. Serie Seminarios y Conferencias N° 77, Santiago, Chile. CEPAL. 93-96 p.
30. Vera, M. B.; Moreira, V. 2009. Caracterización de la microempresa agrícola del Sur de Chile. *IDESIA*. 27(3): 89-99.
31. Vial, R. 2014. Estrategias públicas de apoyo a la pequeña agricultura. Presentación realizada en: Seminario "Política Agraria y Desarrollo". Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
32. Woodburn, M. R.; Ortmann, G. F.; Levin, J. B. 1994. Computer use and factors influencing computer adoption among commercial farmers in Natal Province, South Africa. *Computers and Electronics in Agriculture*. 11(2-3): 183-194.

Análisis preliminar de la percepción de los trabajadores del campo acerca del sistema de formación continua en la Región de Murcia

Preliminary analysis of farm workers perception about continuous education system in the Region of Murcia

David Bernardo López Lluch ¹, Javier Lorenzo Zapata ², Francisco José del Campo Gomis ³

Originales: *Recepción*: 12/05/2015 - *Aceptación*: 27/02/2016

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar una aproximación a la percepción que tienen los trabajadores del campo de la Región de Murcia sobre el sistema de formación continua implantado en dicha Comunidad Autónoma. Se ha realizado una encuesta a una muestra de estos trabajadores. Destaca la deficiente formación básica reglada de estos trabajadores tanto de los titulares individuales de explotación como de los asalariados. Se observa una carencia general de formación específica. Además, se debe incidir en la escasa valoración que los propios trabajadores hacen de la formación continua ya que la mayoría declara realizarla por imperativo legal.

Palabras clave

percepción • formación • trabajadores del campo • Región de Murcia

-
- 1 Departamento de Economía Agroambiental. Universidad Miguel Hernández-Campus de Orihuela. Carretera de Beniel s/n km 3,2. 03312. Orihuela (Alicante). España.
 - 2 ASAJA (Asociación Jóvenes Agricultores) de Murcia.
 - 3 Departamento de Economía Agroambiental. Universidad Miguel Hernández-Campus de Orihuela. francis.delcampo@umh.es

ABSTRACT

The objective of this work is to make an approach to the Murcia agriculture workers' perception on the continuous training system implanted in this autonomous community. There has been a survey of a sample of these workers. It highlights the poor basic education of these workers both farm holders and workers. There is a general lack of specific training. In addition, it must be highlighted the low valuation that workers give to the continuing training system since most of them state they do it because it is compulsory.

Keywords

perception • training • agricultural workers • Región de Murcia

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, procesos tales como la globalización, los grandes avances en las tecnologías de la información y la comunicación, transformaciones de los sistemas productivos, aumento del valor del conocimiento; generan una serie de retos y oportunidades que están afectando, de modo especial, a la educación y a la formación. Así, los cambios en el mundo del trabajo conllevan procesos de producción más complejos, que exigen a los trabajadores ser más flexibles y estar dispuestos a adquirir nuevos conocimientos (20, 23).

Las necesidades de formación de calidad y suficiente no son exclusivas del sector agrario y agroalimentario. Ahora bien, en términos generales, se puede afirmar que los niveles medio de formación reglada alcanzada son insuficientes y que se adolece en general de una formación profesional específica (14).

Dentro del contexto económico empresarial general, la influencia de la formación de los trabajadores en las condiciones laborales es incuestionable, por cuanto supone una adquisición de competencias y conocimientos que producen una mejora notable en la ejecución de las tareas, aunque algunas acciones formativas

tengan un reflejo evidente e inmediato en el trabajo y otras requieran de períodos más largos de maduración como son las acciones que aumentan la capacitación y cualificación profesional (5, 6, 10, 17).

Así, un sector agrario y alimentario competitivo requiere personas capaces de innovar su trabajo actual, de introducir nuevas formas de producir y de manejar la información disponible, de relacionarse en el sistema alimentario y de desarrollar nuevas actividades dentro y fuera del sector agrario (3, 16, 25, 28).

Todo esto precisa de un adecuado nivel de formación básica, el manejo de las nuevas tecnologías de la información y comunicación y una aproximación a la producción flexible y abierta, como una formación continua de los trabajadores que les facilite la incorporación de las innovaciones y la adecuación a las nuevas tendencias (7). Obviamente, esto es aplicable a agricultores y ganaderos.

En este sentido, la transformación de los sistemas de formación inicial para adaptarse a la demanda creciente de formación permanente es, juntamente con la perspectiva de las competencias, el factor que más está impulsando la innovación y la evolución de los sistemas de educación y formación (24).

Por otro lado, las últimas reformas de la Política Agraria Comunitaria y la creciente liberalización de mercados ponen de manifiesto la necesidad de que los agricultores ajusten sus producciones y modernicen sus explotaciones para hacerlas competitivas en los mercados o, en otros casos, diversifiquen sus actividades a través de producciones alternativas no agrarias o se incorporen a las funciones de conservación de la naturaleza.

Además, con las políticas activas de formación y empleo y las recomendaciones de la Unión Europea en esta materia (2, 12, 13), desde la perspectiva del capital humano, el trabajador constituye un factor fundamental ante los procesos del cambio tecnológico, económico y social el cual está inmerso el sector agrario y la sociedad rural, siendo, por tanto, el elemento central de las actuaciones de formación y transferencia de la agricultura, con la suficiente capacidad de análisis, que le permita adoptar las mejores decisiones técnico-económicas de los factores productivos de la explotación y su incorporación a los procesos organizativos profesionales y de transformación y comercialización.

La formación se concibe como un servicio vivo que debe dar respuestas efectivas a las necesidades futuras de un sector, el rural y agroalimentario, en constante cambio y evolución, en un mercado competitivo orientado hacia la calidad y seguridad alimentaria, prestando atención a las pequeñas y medianas empresas.

La investigación en economía laboral durante las últimas décadas permite concluir que la inversión en formación para el capital humano es un elemento clave a la hora de proporcionar a los trabajadores habilidades y, por lo tanto, productividad (10). En este sentido, la formación continua

a lo largo de la vida laboral cumple un papel esencial para mantener actualizados los conocimientos de la fuerza de trabajo (19), así como facilitar a los empleados el acceso a trayectorias laborales ascendentes (8).

El sector agroalimentario en la Región de Murcia

Según el estudio "El sector agroalimentario en la Región de Murcia 2011" (INFO, 2011), publicado por el Instituto de Fomento, el sector agroalimentario murciano constituye uno de los pilares básicos del crecimiento de la economía regional, por tratarse de un sector competitivo y eminentemente exportador. Entre sus características más significativas se destacan la existencia de un notable proceso de especialización agrícola y un elevado índice de empleo agrario (14% de la población regional), junto con una relevante aportación al PIB regional en torno a 10%.

De las prácticamente 563.000 hectáreas de superficie agraria útil que posee la Región de Murcia, prácticamente un tercio se dedica a la plantación de frutales y una décima parte a la producción de hortalizas, ambos mayoritariamente en riego. La superficie de regadío dedicada a la producción hortícola asciende en la Región de Murcia a las 46.516 hectáreas, cifra que representa un 12,90% de la superficie nacional.

La superficie destinada a producción de frutas, superior a las 175.000 hectáreas permite que la Región de Murcia sea una de las principales zonas de producción de cítricos y de frutas de hueso, básicamente limón, albaricoque y melocotón, siendo más reciente el desarrollo de superficies de producción de uva para consumo en fresco.

Respecto de los cultivos leñosos de secano, destaca la producción de almendra, ligada a la agricultura del

interior de la región que, frente a la horticu- cultura del litoral, pone de manifiesto el carácter dual de la agricultura.

Por otra parte, la Región de Murcia cuenta con, aproximadamente, 5.690 hectáreas de invernaderos altamente tecnificados.

La tabla 1 muestra la evolución de las macromagnitudes agrarias de la Región de Murcia en el período 2000-2010.

La producción de la rama agraria experimenta una suave tendencia ascendente a precios corrientes. Ahora bien, si se observa la producción real a través del deflactor implícito del VAB, esta permanece estabilizada, de tal forma que su incremento se limita a un 0,6% entre 2000/2001 y 2009/2010.

El primer punto previo al análisis de la estructura productiva del sector agrario murciano debe ser un estudio de su soporte territorial.

El aprovechamiento agrario y forestal ocupa cerca del 90% de la geografía de la Región de Murcia.

Las tierras de cultivo suponen la mitad de la superficie total, aunque los barbechos y tierras no ocupadas (incluye las tierras de cultivo en descanso o no ocupadas durante el año por cualquier motivo,

aunque puedan ser aprovechadas como pasto) absorben algo más de un cuarto de millón de hectáreas. Esto supone afirmar que la Región de Murcia aporta el 7,2% el total nacional de este uso.

Los cultivos leñosos y herbáceos representan la cuarta parte de la superficie total, suponiendo los leñosos el doble que los herbáceos, destacando la participación en el total nacional de los leñosos, que ronda el 4%.

La partida formada por eriales, pastizales y prados está claramente dominado por los primeros, mientras que el aprovechamiento forestal representa la tercera parte de la geografía regional (tabla 2, pág. 181).

En la tabla 3 (pág. 181) se puede ver el reparto de las tierras de cultivo de la Región de Murcia, siendo estas las que aportan la práctica totalidad del valor de la producción, dividido en función de grandes rúbricas durante el período comprendido entre 2004 y 2011, y separándolo entre regadío y secano.

La superficie de cultivo se ha reducido un 8,7%, siendo el descenso más acusado en el secano (-12,2%) que en regadío (-4,1%).

Tabla 1. Cuentas del sector agrario de la Región de Murcia (período 2010-2014).

Table 1. Agricultural figures in Region of Murcia (period 2010-2014).

Millones de € corrientes	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Producción de la rama agraria (A)	1.753	1.939	2.046	1.829	2.252	2.106
Consumos intermedios (B)	759	788	826	893	1.005	897
VAB a precios básicos (C= A-B)	995	1.151	1.220	936	1.247	1.209
Consumo Capital Fijo (D)	65	102	103	139	155	151
VAN a precios básicos (E=C-D)	930	1.049	1.117	798	1.092	1.058
Otros impuestos sobre la producción (F)	13	6	7	7	9	10
Otras subvenciones a la producción (G)	74	67	98	119	120	158
Renta Agraria (H = E-F+G)	990	1.110	1.208	910	1.203	1.207
Producción real (precios de 2010)	2.235	2.240	2.263	2.088	2.442	2.106
Renta real (precios de 2010)	1.323	1.382	1.403	986	1.216	1.207

Fuente/Source: Sueiras *et al.* (2014).

Tabla 2. Distribución de la superficie. Región de Murcia en el año 2012.

Table 2. Surface distribution in Region of Murcia (2012).

2012	Región de Murcia		España=100
	ha	%	
Tierras de cultivo	550.957	48,70	3,14
Barbechos	257.972	22,80	7,16
Cultivos herbáceos	98.822	8,73	1,10
Cultivos leñosos	194.163	17,16	3,91
Eriales	74.875	6,62	2,32
Pastizales	8.155	0,72	0,16
Superficie forestal	373.353	33,00	1,95
Superficie no agraria ni forestal	124.058	10,97	2,57
Superficie total	1.131.398	100,00	2,24

Fuente/Source: Sueiras *et al.* (2014).

Tabla 3. Distribución de las tierras de cultivo. Secano y regadío. Región de Murcia (Años 2004 y 2011).

Table 3. Distribution of farmland. Dry and irrigated. Region of Murcia (2004 and 2011)

ha	2004			2011		
	Secano	Regadío	Total	Secano	Regadío	Total
Barbechos	233.287	38.214	271.507	213.354	39.834	253.188
Herbáceos	60.489	62.942	123.431	48.339	59.188	107.527
Cereales grano	57.291	7.641	64.932	45.675	6.448	52.123
Cultivos forrajeros	199	1.171	1.370	182	438	620
Cultivos industriales	964	2.232	3.196	418	806	1.224
Flores	-	456	456	1	381	382
Hortalizas	-	48.947	48.947	29	48.704	48.733
Leguminosas para grano	2.035	274	2.309	2.034	90	2.124
Tubérculos consumo humano	-	2.221	2.221	-	2.231	2.231
Leñosos	115.554	99.722	215.276	102.331	95.310	197.641
Cítricos	-	39.382	29.382	-	38.780	38.780
Frutales no cítricos	66.655	37.842	104.497	65.982	33.044	99.026
Olivar	15.124	7.547	22.671	13.778	9.351	23.129
Otros cultivos leñosos	770	28	798	786	240	1.026
Viñedo	33.005	14.708	47.713	21.785	13.463	35.248
Viveros	-	215	215	-	432	432
Total	409.330	200.878	610.214	364.024	194.332	558.356

Fuente/Source: Sueiras *et al.* (2014).

En 2011, la participación del primero se situó en un 54,2%, ocupando el segundo el 45,8% restante. Barbechos y tierras no ocupadas supusieron la mitad de las tierras de secano de la Región de Murcia en los dos años, representando algo más de la décima parte de las de regadío. Hecho que, en buena medida, refleja las dificultades de poner en producción el secano y una significativa fracción de la superficie regable, por insuficiencia o carestía del agua de riego.

Dejando al margen ese capítulo, las tierras de cultivo de herbáceos y leñosos se reparten prácticamente a la mitad entre secano y regadío.

De acuerdo con Sueiras *et al.* (2014), la composición de la producción agraria regional queda reflejada en la tabla 4, para el período 2004-2010. La especialización vegetal del sector es más que evidente, representando estas producciones entre el 70 y el 75% de la producción agraria de la Región de Murcia, frente a una cifra nacional que ronda el 60% en los últimos años (4).

Dentro de las mismas, destaca en primer lugar la Horticultura que, en 2010 por ejemplo, supuso el 40% del valor total de la producción. La contribución conjunta de frutas frescas y cítricos se sitúa en torno al 20%, ocupando flores y uva y vino posiciones significativas pero secundarias.

En 2010, la participación de la Región de Murcia en el total nacional se elevó a un 10,7% en hortalizas, descendiendo a un 5,7% en frutas frescas y cítricos. Determinados cultivos como cereales, olivar y almendro, por muy emblemáticos que se puedan considerar o por muy relevantes que sean desde un punto de vista territorial, tienen escaso peso productivo.

En cuanto a ganadería, la preponderancia de la cabaña porcina en la producción animal es evidente, con una cuota creciente de tal forma que, en 2010, iguala el valor de la producción conjunta de frutas frescas y cítricos. Por el contrario, desciende el peso del ganado ovino, desempeñando la avicultura de carne una función accesoria.

Tabla 4. Composición de la producción agraria. Región de Murcia (período 2000-2010).

Table 4. Composition of agricultural production. Region of Murcia (2000-2010).

%	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Producción vegetal (A)	71,82	75,22	76,82	75,12	72,54	72,04
Cereales	0,47	0,82	1,04	0,57	0,64	0,57
Hortalizas	38,31	38,28	39,49	34,90	33,30	39,98
Flores y plantas ornamentales	3,03	2,33	3,02	3,01	2,28	2,88
Frutas frescas	8,20	8,98	8,79	11,90	11,77	8,94
Cítricos	9,72	12,40	11,90	10,48	13,76	9,86
Uva y vino	3,62	3,11	3,62	5,30	5,08	4,65
Producción animal (B)	25,51	22,17	20,82	22,58	25,58	26,15
Porcino	17,93	13,93	13,61	15,04	18,75	19,57
Ovino	3,13	4,07	2,54	1,85	1,59	1,53
Aves	1,35	0,99	1,32	2,12	2,18	1,89
Servicios de la agricultura (C)	1,85	1,75	1,64	1,43	1,13	1,01
Actividades secundarias no agrarias (D)	0,82	0,86	0,72	0,87	0,74	0,80
Producción de la rama agraria A + B + C + D	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente/Source: Sueiras *et al.* (2014).

El Programa Regional de Formación y Cualificación Profesional Agroalimentaria de la Región de Murcia

El Programa Regional de Formación y Cualificación Profesional Agroalimentaria de la Región de Murcia en el año 2000, estableció un Programa en el que se integran los 2 subsectores de formación profesional: la Formación Profesional Específica y la Formación Profesional para el Empleo. Además, se prevén convalidaciones modulares en los dos subsistemas.

Para determinadas acciones formativas, integradas en itinerarios formativos, se acredita la formación mediante carnés o diplomas oficiales que posibilitan el ejercicio profesional:

Formación Profesional Específica

La Formación Profesional Específica, como objetivo inicial de la Ley Orgánica General del Sistema Educativo (LOGSE), se implanta y se diseña teniendo en cuenta el sistema productivo y sus necesidades, así como la demanda de profesionales cualificados por parte de las empresas de los diferentes sectores.

En este sentido desde los Centros Integrados de Formación y Experiencias Agrarias (CIFEA) de Jumilla, Lorca, Torre Pacheco y Molina de Segura, se ofertan enseñanzas de Formación Profesional Específica (Ciclos Formativos de Grado Medio y Superior).

Formación Profesional para el Empleo

El subsistema de Formación Profesional para el Empleo está integrado por el conjunto de instrumentos y acciones que tienen por objeto impulsar y extender entre las empresas y los trabajadores ocupados y desempleados, una formación que responda a sus necesidades y contribuya al desarrollo de una economía basada en el conocimiento.

Está integrado por dos iniciativas de formación: la formación de oferta y la formación de demanda.

La oferta de Formación Profesional para el Empleo tiene por objeto ofrecer a los trabajadores, tanto ocupados como desempleados, una formación ajustada a las necesidades del mercado de trabajo y que atienda a los requerimientos de productividad y competitividad de las empresas y a las aspiraciones de promoción profesional y desarrollo personal de los trabajadores, de forma que les capacite para el desempeño cualificado de las distintas profesiones y para el acceso al empleo.

Con el fin de incentivar y facilitar la participación y el acceso de los trabajadores a la oferta formativa dirigida a la obtención de los certificados de profesionalidad, se establecerá una oferta de formación modular que favorezca la acreditación parcial acumulable de la formación recibida, reduzca los riesgos de abandonos y posibilite que el trabajador avance en su itinerario de formación profesional cualquiera sea la situación laboral en que se encuentre. Los certificados de profesionalidad son instrumentos de acreditación oficial de las cualificaciones profesionales del Catálogo Nacional de las Cualificaciones Profesionales (CNCP) en el ámbito de la Administración laboral que acreditan la capacitación para el desarrollo de una actividad laboral con significación para el empleo y aseguran la formación necesaria para su adquisición (ordenan las cualificaciones profesionales más significativas, susceptibles de reconocimiento y acreditación, identificadas en el sistema productivo en función de las competencias apropiadas para el ejercicio profesional).

El Servicio Regional de Empleo y Formación de la Región de Murcia

Establece su oferta formativa a través de 3 modalidades de formación:

Modalidad 1

Formación de oferta dirigida prioritariamente a trabajadores ocupados mediante la ejecución de planes de formación regulada por la Orden de 7 de julio 2009, del Presidente del Servicio Regional de Empleo y Formación, por la que se regula la formación de oferta dirigida prioritariamente a trabajadores ocupados mediante la ejecución de planes de formación, y se establecen las bases reguladoras de subvenciones destinadas a tal fin, en el ámbito de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (26).

Modalidad 2 y 3

Acciones formativas dirigidas prioritariamente a trabajadores desempleados (modalidad 2) y proyectos de formación (modalidad 3), regulada por la Orden

de 22 de junio 2009, del Presidente del Servicio Regional de Empleo y Formación, por la que se regula la formación de oferta dirigida prioritariamente a trabajadores desempleados, mediante acciones y proyectos de formación y se establecen las bases reguladoras del procedimiento de concesión y justificación de subvenciones destinadas a tal fin, en el ámbito de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (26).

Enmarcados en la familia profesional agraria se encuentra, en la Consejería de Formación y Empleo, y dentro del Programa de Ocupados, los cursos que se muestran en la tabla 5.

Por otra parte, el Programa Regional de Formación para el Empleo para el año 2011, complementario a otras actuaciones en materia de Formación y Transferencia Tecnológica que se ofertan desde la Consejería de Agricultura y Agua.

Tabla 5. Formación Profesional para el Empleo en la Región de Murcia.

Table 5. Professional Education for Employment in Region of Murcia.

Cursos	Nombre del Curso	Duración (horas)
6	Aplicador de productos fitosanitarios. Nivel básico	30
14	Higiene alimentaria para recolectores	10
16	Prevención de riesgos laborales: Manipuladores	6
1	Responsabilidad social empresarial Nivel básico. Teleformación	10
1	Iniciación de implantación del sistema APPCC en la industria alimentaria	15
1	Formación por puestos: ocupación manipulador	10
1	Manipulación manual de cargas en el sector hortofrutícola	10
1	Técnico básico en prevención. Sector / Puestos distancia	25
1	Formación por puestos: ocupación recolector	15
1	Ley de protección de datos nivel básico	25
3	Bienestar animal en el transporte	25
2	Operador de carretillas elevadoras	35

Fuente: elaboración propia.

Source: Own elaboration.

Está dirigido a empresarios, técnicos y trabajadores agrícolas de distinto nivel de formación básica, quienes pretenden mejorar la competitividad de las empresas agrarias y la cualificación personal de los ocupados en el sector.

El objetivo que persiguen es que en un corto período de tiempo puedan adquirir, perfeccionar o actualizar, los conocimientos y habilidades necesarias sobre temas específicos, tanto agrícolas como ganaderos o de industrias alimentarias.

Uno de los programas que se enmarcan dentro de la Formación para el Empleo es el "Programa de Incorporación a la Empresa Agraria" y entre sus objetivos marcados está el de formar a agricultores que se incorporen a la explotación familiar agraria u otras, en las mejores condiciones técnico-prácticas y de capacidad empresarial.

La formación a demanda la regula la ORDEN del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, TAS/2307/2007, de 27 de julio por la que se regula el subsistema de formación profesional para el empleo, así como su régimen de financiación, mediante bonificaciones en las cotizaciones de la Seguridad Social, y la creación del correspondiente sistema telemático, así como los ficheros de datos personales de dicho subsistema. Responde a las necesidades específicas de formación de las empresas y trabajadores, y está integrada por las acciones formativas de las empresas y los permisos individuales de formación. Corresponde a las empresas la planificación y gestión de la formación de sus trabajadores, a los trabajadores la iniciativa en la solicitud de los citados permisos, y a la representación legal de los trabajadores el ejercicio de los derechos de participación e información.

Las empresas dispondrán de un "crédito para la formación continua"

que se calculará aplicando a la "cuota de formación profesional" (el 0,7% de la base reguladora de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales que figura en el epígrafe 501 en los boletines de liquidación de la Seguridad Social, TC1 presentados el año natural anterior) el porcentaje de bonificación establecido en función del tamaño de la empresa.

Se establece así mismo, la obligación de las empresas de participar en la financiación de los costes de las acciones formativas en un porcentaje mínimo establecido en función de su tamaño.

Además, las acciones de apoyo y de acompañamiento a la formación (26), tienen como finalidad mejorar la eficacia del subsistema de formación profesional para el empleo, financiando el 100% de acciones encaminadas a este fin, como son:

Acciones de prospección y análisis

Destinadas a profundizar en el conocimiento de los factores que configuran las demandas de formación, de los problemas y necesidades específicas de formación en los distintos sectores económicos o ámbitos territoriales y de otras materias que afectan de manera general a la formación profesional para el empleo.

Acciones para la elaboración y experimentación de productos, técnicas y/o herramientas de carácter innovador de interés para la mejora de la formación profesional para el empleo

Destinadas a facilitar a las empresas y los distintos agentes que participan en la gestión de la formación de los trabajadores desempleados y ocupados, los instrumentos que les permitan mejorar su organización, planificación y desarrollo.

Acciones de evaluación de la formación profesional para el empleo

Destinadas a realizar procesos de evaluación de la formación de los diferentes sectores de actividad económica o ámbitos territoriales y a desarrollar metodologías y herramientas de evaluación para que puedan ser aplicados por quienes participan y gestionan la formación, con el fin de mejorar su calidad.

Acciones de promoción y difusión

Tienen por finalidad generar redes de conocimiento de la formación profesional para el empleo mediante centros virtuales de trabajo, bases documentales de consulta, campañas de difusión, publicaciones, foros de discusión en línea o presenciales, guías de buenas prácticas y cualquier otra medida que favorezca la promoción y difusión de las iniciativas, estudios, herramientas y productos de formación profesional para el empleo entre los trabajadores, las empresas, las organizaciones empresariales y sindicales y los distintos agentes que participan en la formación, así como la promoción de agrupaciones de pequeñas y medianas empresas para la organización y gestión de sus programas de formación.

Objetivos

El objetivo general de este trabajo es realizar un análisis preliminar del nivel de formación de los trabajadores del sector agrario de la Región de Murcia así como de su percepción sobre el Sistema de Formación Continua de la Región de Murcia. Este objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

1°. Conocer el nivel formativo de los trabajadores del sector agrario de la Región de Murcia.

2°. Conocer los motivos por los que estos trabajadores realizan cursos de formación continua así como el grado de satisfacción obtenido tras la realización de dichos cursos.

3°. Saber el grado de conocimiento que tienen estos trabajadores acerca del Sistema de Formación Continua de la Región de Murcia.

Plantearse la evaluación del impacto manifiesta una cierta preocupación por los efectos de la formación. Incluye un intento de superar la habitual costumbre de considerar la validez de la formación sin tomar en consideración su carácter instrumental en el proceso de cambio y de transformación de las organizaciones y de la sociedad que les ampara.

No se debe dejar de señalar, al respecto, que a menudo se relaciona con la calidad de las instituciones aspectos como la medición cuantitativa y gestión de los hechos, la reducción de pérdidas, el uso eficiente de recursos o el rápido tiempo de respuesta (1); también la orientación hacia los resultados (modelo europeo de gestión de calidad) o de seguimiento y evaluación de las actuaciones (9).

Plantearse los efectos de la formación tiene un sentido organizacional y social, que justifica la existencia de formación, independientemente de las dificultades que acompañan a la valoración de un proceso que debería realizarse de una manera diacrónica.

La formación ocupacional no es parte integrante del sistema educativo reglado, sino un instrumento que facilita la incorporación y permanencia de los trabajadores en el mundo laboral, así como su movilidad ocupacional, posibilitando su cualificación reconversión y perfeccionamiento en función de las perspectivas que ofrece dicho mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Según el Ministerio de Agricultura, Medio Ambiente y Alimentación (2012), más de setecientas mil personas estaban ocupadas en el sector de la agricultura, pesca, caza y silvicultura ese año. Los datos desagregados pueden verse en la tabla 6.

En la Región de Murcia, según estos mismos datos había ese mismo año unos 95.000 trabajadores en este sector (CNAE- 2009).

Se ha encuestado a un total de 400 trabajadores del campo en la Región de Murcia. Ya se ha indicado que el número de trabajadores agrarios en la Región de Murcia supera los 95.000.

Los encuestados fueron seleccionados al azar entre los participantes en cursos de formación ofertados dentro del Sistema de Formación Continua de la Región de

Murcia durante el año 2013. Se tiene así un error muestral del 5% con un nivel de confianza del 95,5% (21). Antes de llegar al cuestionario definitivo se realizaron dos pre - tests. El primero de ellos fue revisado por expertos en el diseño de encuestas con el objeto de pulir posibles asperezas, errores de lenguaje o incorrecciones de método.

Una vez introducidas las correcciones que sugerían estos expertos, se realizó una primera prueba en la que se entrevistó a quince sujetos al azar con el objetivo de detectar otros posibles errores de lenguaje o aspectos no detectados. Realizados los dos pre-test, se obtuvo el cuestionario definitivo (15, 21).

Tabla 6. Clasificación de la población activa ocupada en el sector agrario en España, género y grupos de edad (miles de personas mayores de 16 años) (medias anuales).

Table 6. Classification of the active population employed in the agricultural sector in Spain by gender and age groups (thousands of people over 16 years) (annual averages).

	Miles de personas				Distribución porcentual			
	Sector Agrario (1)		Total		Sector Agrario (1)		Total	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Hombres	561,5	556,3	9.991,4	9.432,3	73,9	73,2	55,2	52,1
Mujeres	198,7	196,9	8.113,3	7.849,7	26,1	25,9	44,8	43,4
De 16 a 19 años	10,5	8,5	123,2	83,2	1,4	1,1	0,7	0,5
De 20 a 29 años	101,4	94,0	2.867,7	2.482,6	13,3	12,4	15,8	13,7
De 30 a 39 años	200,5	190,1	5.585,7	5.285,7	26,4	25,0	30,9	29,2
De 40 a 49 años	208,8	216,6	5.055,4	4.959,1	27,5	28,5	27,9	27,4
De 50 a 59 años	161,0	165,8	3.524,4	3.534,4	21,2	21,8	19,5	19,5
De 60 a 64 años	65,4	64,6	797,2	778,9	8,6	8,5	4,4	4,3
De 65 y más años	12,7	13,8	151,3	158,3	1,7	1,8	0,8	0,9

(1) Comprende agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca. Los datos por sectores de actividad están referidos a CNAE-2009.

(1) Includes agriculture, hunting, forestry and fishing. The data sectors are referred to CNEA-2009.

RESULTADOS

El objetivo general de este trabajo es realizar un análisis preliminar del nivel de formación de los trabajadores del sector agrario de la Región de Murcia así como de su percepción sobre el Sistema de Formación Continua de la Región de Murcia. Este objetivo general se desglosa en una serie de objetivos específicos.

En primer lugar, para conocer el nivel formativo de los trabajadores del sector agrario de la Región de Murcia se analizaron sus características sociolaborales.

Así, el 66% de los encuestados es mayor de 45 años, un 32% tiene entre 25 y 45 años y solo un 2% tiene menos de 25 años. El 94% de los encuestados es hombre.

En cuanto al nivel de estudios alcanzado por los encuestados, el 31,25% declara no tener ningún tipo de estudios; el 42,5% dice que tiene estudios primarios (E.G.B. o similar); el 20% señala el B.U.P. F.P. o Bachiller superior como el nivel académico alcanzado. Únicamente el 6,25% señaló estudios universitarios.

Al preguntar la nacionalidad, el 72,5% de los encuestados declaró ser español, un 13,75% dijo ser extranjero comunitario y el mismo porcentaje se encontró en el grupo de extranjeros no comunitarios.

A continuación, se pidió a los encuestados que señalasen el tipo de contrato o relación laboral que tenían con la empresa en la que trabajaban.

La figura 1 (pág. 189) muestra esos resultados. Destaca que el 46% declarase ser trabajador por cuenta propia y que un 26% dijese ser eventual.

También se preguntó a los encuestados su categoría profesional dentro de la empresa. El 66,2% dijo ser trabajador cualificado y el 33,8% señaló la opción de trabajador no cualificado. Nadie dijo ser técnico o directivo de la empresa.

La figura 2 (pág. 189) muestra la actividad principal de la empresa en la que trabajan los encuestados.

La totalidad de las empresas tienen actividades relacionadas con la agricultura o la ganadería.

También se preguntó el número de trabajadores de estas empresas.

La figura 3 (pág. 189) muestra los resultados. Destaca que más del 80% de las empresas tengan menos de 10 trabajadores.

El segundo bloque de la encuesta se ocupaba de conocer los motivos por los cuales estos trabajadores realizaban cursos de formación continua así como el grado de satisfacción obtenido tras la realización de dichos cursos. Para ello, se indagó sobre los aspectos relacionados con el último curso que habían realizado los trabajadores.

Ante la pregunta: ¿Cuáles son los motivos fundamentales por los que ha decidido llevar a cabo la acción formativa? destaca que el 56% de los encuestados dijese que lo estaban haciendo por obligación legal (figura 4, pág. 190).

Al preguntar por el grado de satisfacción obtenido por el curso realizado, el 92% declaró que el grado de satisfacción era alto, un 8% dijo que medio y nadie dijo que el grado de satisfacción era bajo.

La siguiente pregunta se centró en los beneficios obtenidos por la realización del curso. El 60% indicó "obtener curso obligatorio por ley" y el 38% dijo "ampliar los conocimientos" (figura 5, pág. 190).

También se preguntó si habían tenido algún problema en la realización del curso. El 90% declaró no haber tenido ningún problema (figura 6, pág. 190).

El tercer bloque de la encuesta pretendía saber el grado de conocimiento que tienen estos trabajadores acerca del Sistema de Formación Continua de la Región de Murcia.

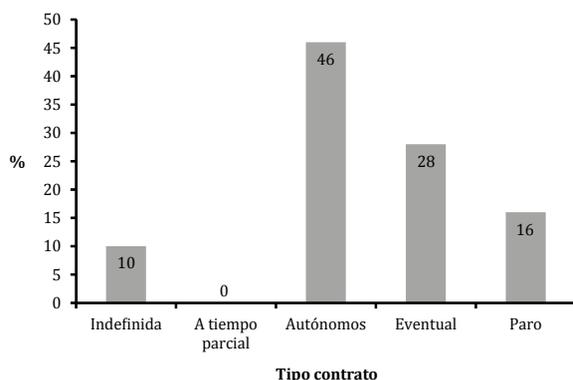


Figura 1. Relación laboral de los encuestados con la empresa en la que trabajan.
Figure 1. Employment relationship of the respondents with the company where they work.



Figura 2. Actividad principal de las empresas en las que trabajan los encuestados (porcentaje).
Figure 2. Main activity of the companies in which respondents (percentage) work.

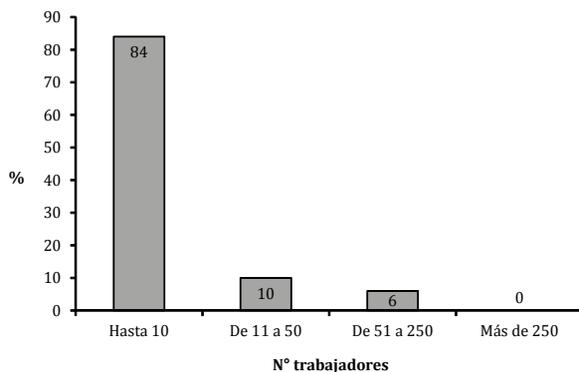


Figura 3. Número de trabajadores en las empresas de los trabajadores encuestados.
Figure 3. Number of workers in the companies where respondents work.

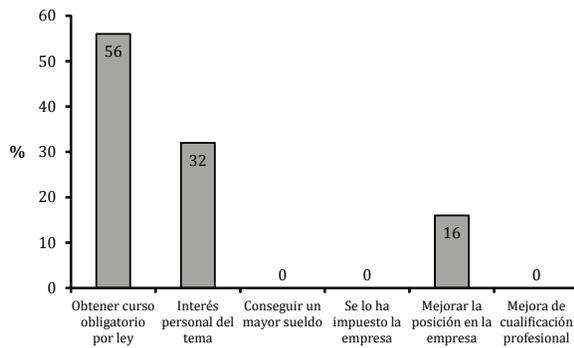


Figura 4. ¿Cuáles son los motivos fundamentales por los que ha decidido llevar a cabo la acción formativa?

Figure 4. Which are the main reasons why you have decided to conduct the training?

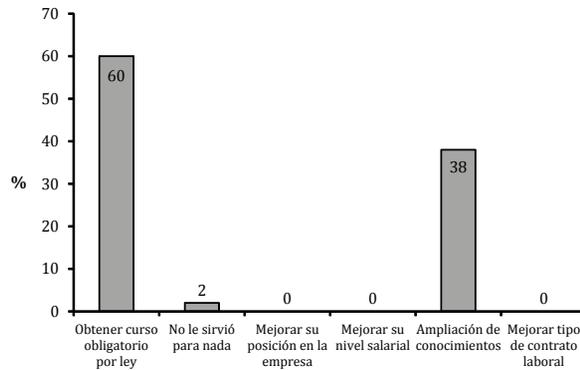


Figura 5. ¿Cuáles son los beneficios obtenidos por la realización del curso?

Figure 5. Which are the benefits obtained by completing the course?

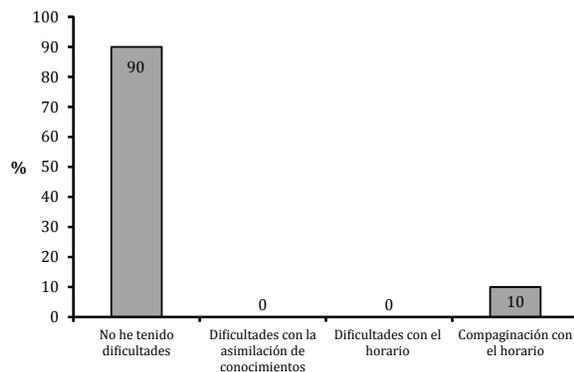


Figura 6. ¿Qué problemas ha experimentado durante la realización del curso?

Figure 6. What problems have you experienced during the completion of the course?

En primer lugar, se preguntó a los encuestados si conocían una serie de administraciones de la Región de Murcia dedicadas a la formación. Así, se obtuvo que: el 82,5% declaró conocer el Servicio Regional de Empleo y Formación de la Región de Murcia (SEF).

El 93,8% dijo conocer los Programas de Formación Continua de la Consejería de Agricultura y Agua.

Por último, se pidió que valorasen el Sistema de Formación Continua de la Región de Murcia.

El 83,8% declaró que la Formación Continua se imparte con suficiente calidad. El 92,5% dijo que el acceso a la Formación Continua no presenta dificultades importantes.

Al ser este un análisis preliminar, se ha realizado un análisis ANOVA con el objeto de comparar valores medios para determinar si alguno de ellos difiere significativamente del resto y realizar posteriores estudios más detallados.

La prueba de homogeneidad de varianzas obtenida, valor de F no significativo para $p < 0,05$; indica que existen diferencias significativas para: Nivel de estudios, Tipo de contrato, Actividad principal empresa, Número de trabajadores empresa, Beneficio tras curso, Problemas durante el curso; Conoce el SEF; Conoce Conserjería de Agricultura; La formación continua se imparte con suficiente calidad; El acceso a la formación continua presenta dificultades.

Puede verse cómo los valores del estadístico de prueba (F) de ANOVA son significativamente distintos de 1, y además todas estas variables tienen un valor de probabilidad nulo o muy bajo, dos condiciones que deben cumplir dichos valores para existir diferencias significativas. Los valores de F de Snedecor de ANOVA son:

- Nivel de estudios: $F=0,449$.
- Tipo de contrato: $F=16,289$.
- Actividad principal empresa: $F=18,462$.
- N° trabajadores empresa: $F=39,273$.
- Beneficio tras curso: $F=32,971$.
- Problemas durante el curso: $F=3,072$.
- Conoce el SEF: $F=27,150$.
- Conoce Consejería de Agricultura: $F=4,288$.
- La formación continua se imparte con suficiente calidad: $F=1,433$.
- El acceso a la formación continua presenta dificultades: $F=2,631$.

Para concretar finalmente la existencia de diferencias significativas, se debe aplicar los criterios de distribución normal de los datos y que las varianzas no difieran de forma significativa. De las variables nombradas en el párrafo anterior, las que cumplen ambas condiciones son: Tipo de contrato, Actividad principal empresa, Número de trabajadores empresa, Beneficio tras curso, Conoce el SEF.

En base a esto, se puede afirmar que es necesario seguir investigando de qué forma afectan el Tipo de contrato del trabajador, la Actividad principal de la empresa, el Número de trabajadores de la empresa, el Beneficio tras realizar el curso y el grado de conocimiento del SEF a la percepción que tienen estos trabajadores por la Formación Continua.

CONCLUSIONES

En primer lugar, es necesario destacar la deficiente formación básica reglada de estos trabajadores tanto de los titulares individuales de explotación, como de las ayudas familiares y de los asalariados. Más del 70% ha declarado no tener estudios o tener estudios primarios. Como consecuencias fundamentales de esta situación de partida, se tiene:

- Problemas importantes a la hora de adquirir mayores habilidades y profundizar en la formación.

- Frenos a la competitividad y la adaptabilidad de estos trabajadores.

En segundo lugar, se observa una carencia general de Formación Específica. Los déficits formativos de los agricultores se transmiten a las estructuras que emanan de ellos y afectan al desarrollo del sector y del medio rural.

Como último punto, se debe incidir en la escasa valoración que los propios trabajadores hacen de la formación continua ya que la mayoría declara realizarla por imperativo legal.

El 56% de los encuestados declaró que estaba recibiendo formación por obligación legal.

Dado que cada vez se exigen más requisitos para acceder y permanecer en el mercado laboral, unido a los continuos cambios en la estructura ocupacional debidos a los avances tecnológicos y a las formas de organización del trabajo, son necesarios mayores niveles de formación y un continuo reciclaje profesional para obtener las competencias necesarias para incorporarse o mantenerse en un puesto de trabajo.

Es necesario estudiar más en qué se concretan y afectan el Tipo de contrato del trabajador, la Actividad principal de la empresa, el Número de trabajadores de la empresa, el Beneficio tras realizar el curso y el grado de conocimiento del SEF a la percepción que tienen estos trabajadores por la Formación Continua.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abdala, E. 2001. Manual para la evaluación del impacto en programas de formación para jóvenes. Documento presentado en el Seminario Internacional Modelos de evaluación para programas de capacitación de jóvenes Medellín, Colombia. Disponible en <http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cienterfor/publ/sala/sbdala/manul> (fecha de consulta 23/09/2014).
2. Albert, C.; García Serrano, C.; Hernanz, V. 2010. La formación en el trabajo en Europa. Determinantes y rendimiento salarial. *Revista Internacional del Trabajo*. 129(3): 349-378.
3. Albisu Aguado, L. M. 2012. Las necesidades de formación en las actividades de comercialización de la industria agroalimentaria aragonesa: Centro de Investigación Tecnológica de Aragón. 156 p.
4. Arcas, N.; Alcón, F.; López E. I.; Cabrera A.; Uclés D. 2012 Análisis de la campaña hortofrutícola de la Región de Murcia. Campaña 2010/2011: Serie Informes y Monografías. Nº 39. Almería. Fundación Cajamar. 345 p.
5. Barney, J. B. 1991. Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*. 17: 99-120.
6. Barney, J. B.; Wright, P. M. 1998. On becoming a strategic partner. The role of human resources in gaining competitive advantage. *Human Resource Management*. 37(1): 31-46.
7. Barrett, A; O'connell, P. J. 2001. Does training generally work? *Industrial and Labour Relation Review*. 54(3): 647-662.
8. Blau, F. D.; Khan, L. M. 1996. International Differences in Male Wage Inequality: Institutions versus Market Forces. *Journal of Political Economy*. 104(4): 791-837.
9. Cabrera, F. 2000. Evaluación de la formación. Madrid. Ed Síntesis. 167 p.
10. Caparrós, A.; Navarro, M. L.; Rueda, M. F. 2009. Análisis de la incidencia y duración de la formación laboral financiada por empresas y trabajadores. *Cuadernos de Economía*. 32(89): 83-111.

11. Caparrós, A.; Navarro, M. L.; Rueda, M. F. 2010. Rentabilidad salarial de la formación laboral: un análisis con datos de panel. *Estudios de Economía Aplicada*. 28(2): 1-20.
12. Ertl, H. 2006. European Union policies in education and training: the Lisbon agenda as a turning point? *Comparative Education*. 42(1): 5-27.
13. Ertl, H.; Phillips, D. 2006. Standardization in EU education and training policy: findings from a European research network. *Comparative Education*. 42(1): 77-91.
14. Federighy, P. 2006. La educación y la formación en Europa tras el 2010. *Revista de Educación*. 339: 801-823.
15. Grande, I.; Abascal, E. 1996. *Fundamentos y técnicas de investigación comercial*. Madrid. ESIC Editorial. 234 p.
16. Gregory, R. B. 2013. *El proceso de consolidación del sistema de la Formación ocupacional en Extremadura: Una aproximación sociológica a sus estilo de desarrollo*. Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura. 154 p.
17. Novoa, A. 2010. La construcción de un espacio educativo europeo: gobernando a través de los datos y la comparación. *Revista Española de Educación Comparada*. 16: 23-41.
18. Instituto de Fomento de la Región de Murcia [INFO] 2012. *El sector agroalimentario en la Región de Murcia 2011*. Disponible en http://www.institutofomentomurcia.es/c/document_library/get_file?uuid=adf0feca-8fed-4c94-8b05-f7a677039fe9&groupId=10131. (fecha de consulta: 16/03/2013).
19. Lynch, L. M. 1992. Private sector training the earnings of young workers. *The American Economic Review*. 82(1): 299-312.
20. Lorente, R. 2011. Configuración de las políticas europeas de formación profesional ante las nuevas demandas del mercado laboral. Profesorado. *Revista de Currículum y Formación de Profesorado*. 15(2): 357-369.
21. Luque, T. 1999. Encuestas para la investigación. En: Sarabia, F. J. 1999. *Metodología para la investigación en marketing y dirección de empresas*. Madrid. Ed. Pirámide. Madrid. 324 p.
22. Ministerio de Agricultura, Medio Ambiente y Alimentación. 2012 *Anuario de Estadística Agraria*. Madrid. Ed. Ministerio de Agricultura, Medio Ambiente y Alimentación. 684 p.
23. 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.
24. Homs, O. 2008. *La formación profesional en España. Hacia la sociedad del conocimiento*. Barcelona: Fundación La Caixa. 178 p.
25. Sánchez Ruiz de Valdivia, I. 2012. Riesgos emergentes en las explotaciones agrarias. La precariedad laboral en el sector agrícola. *International Journal of Land Law and Agricultural Science*. (7): 19-44.
26. Servicio Regional de Empleo y formación de la Región de Murcia (SERFCAM) 2010. *Formación de oferta*. Disponible en [http://www.sefcarm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=31627&IDTIPO=100&RASTRO=c\\$m30084,31626](http://www.sefcarm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=31627&IDTIPO=100&RASTRO=c$m30084,31626) (fecha de consulta: 19/6/2013).
27. Servicio Regional de Empleo y formación de la Región de Murcia (SERFCAM). 2011. *Acciones de Apoyo y de Acompañamiento a la Formación*; Disponible en [http://www.sefcarm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=31563&IDTIPO=100&RASTRO=c\\$m30084,31626](http://www.sefcarm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=31563&IDTIPO=100&RASTRO=c$m30084,31626) (fecha de consulta: 19/6/2013).
28. 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.
29. Sueiras, J. C.; Pleite, F. M. C.; Paz, J. M. M. 2014. El impacto de la PAC renovada sobre el sector agrario de la Región de Murcia. Murcia. Ed. Consejo Económico y Social de la Región de Murcia. 56 p.

Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas

Urban trees appraisal, comparison of formulas

Mauricio Ponce-Donoso, Óscar Vallejos-Barra

Originales: *Recepción:* 20/08/2015 - *Aceptación:* 16/10/2015

RESUMEN

La práctica de valoración del arbolado urbano llevada a cabo en contextos urbanos, se realiza habitualmente a través de la aplicación de fórmulas. El objetivo del estudio fue comparar los resultados monetarios obtenidos en la aplicación de 12 fórmulas, 2 chilenas y 10 de otros países, efectuadas por cuatro tasadores iniciados. Se tasaron 30 árboles en tres distintas comunas de Chile, Santiago, Talca y Concepción, generándose 1.440 datos. Los resultados fueron analizados utilizando análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis y la prueba de comparación múltiple de mínima diferencia significativa de Fisher (DMS). Los valores más altos se obtuvieron con STEM, Helliwell y Burnley, mientras que valores medios se obtuvieron con Tedesco, N. Granada, COPIMA y M. Italiano, y valores menores con M. Peñalolén, M. Suizo, CTLA, M. Francés y M. Danés. Se encontró diferencia significativa entre las fórmulas, conformando seis grupos, y no entre tasadores. El valor base y la composición de la fórmula siguen teniendo un alto impacto en el resultado final de la valoración. El uso de la prueba estadística no paramétrica amplía el análisis de las fórmulas.

Palabras clave

valoración del árbol • silvicultura urbana • tasación de árbol urbano

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Casilla 747, Talca. Chile.
mponce@utalca.cl

ABSTRACT

The practice of monetary valuation of urban trees conducted in urban settings is usually done through formulas. The aim of the study was to compare the monetary results from the application of 12 formulas, 2 Chilean and 10 from other countries, carried out by four junior appraisers. 30 trees were assessed in three different districts of Chile, Santiago, Talca and Concepción, producing 1.440 data. The results were analyzed using Kruskal-Wallis non-parametric test for variance and Fisher's least significant difference (LSD) multiple comparison. The highest values were obtained with STEM, Helliwell and Burnley, average values were obtained with Tedesco, N. Granada, COPIMA and Italian M., and lower values with Peñalolén M., Swiss M., CTLA, French M. and Danish M. Significant difference between valuations methods were found, while no significant differences between appraisers were found. The basic value and the composition of the formula showed a high impact on the final outcome of the assessment. The use of non-parametric statistical test extends the formulas analysis.

Keywords

tree value • urban silviculture • urban tree valuation

INTRODUCCIÓN

Existen varias formas de definir el arbolado urbano, desde una clásica que considera al árbol urbano como decoración y ornato de las calles (Tyrväinen *et al.*, 2003); funcional, que toma al arbolado como un proveedor de múltiples beneficios para la ciudad; y de manera más integral, que lo considera como un acercamiento a la plantación, cuidado y gestión de los árboles en las ciudades para asegurar múltiples beneficios para los habitantes urbanos (20).

El concepto de arbolado urbano se origina en la década de 1960 en Norteamérica y en la de 1980 en Europa (19, 24). Cordell *et al.* (1984) lo identifica en parques, plazas, veredas comerciales y residenciales, cinturones verdes y otros sitios urbanos. El arbolado urbano constituye una variable de sustentabilidad, incorporando aspectos sociales, ambientales y económicos, con lo cual contribuye al desarrollo

sustentable (9, 18, 19, 23, 26, 28, 31, 32). Su valor puede ser representando en una expresión monetaria.

La determinación del valor monetario de los árboles no es fácil, pues no tienen su correlato en el mercado (19). Sus inicios se remonta a la determinación de un valor con base en característica ornamentales (Caballer, 1999), mientras que en la actualidad incorporan diversos bienes y servicios ecosistémicos que los árboles proveen (11).

Las fórmulas existentes para determinar el valor del árbol se estructuran de forma multiplicativa o paramétrica como económica o de capitalización (25).

Se han estudiado las diferentes fórmulas que se aplican en diversos países (6, 15, 16, 27, 28, 29, 32, 34), encontrándose que las de tipo paramétricas presentan un mejor desempeño, aunque algunos señalan que el uso de las fórmulas de capitalización son más fáciles de usar y las recomiendan para usos municipales.

Al respecto Chueca (2001), señala la necesidad que las metodologías de valoración permitan la reducción de la subjetividad de las variables de la fórmula, lo que no debe confundirse por el método en sí mismo, sino por quien lo aplica.

Es posible identificar más de 30 fórmulas en la literatura especializada, tanto de organizaciones que las patrocinan, como en diferentes estudios, que se aplican a grandes áreas de un país o bien exclusivamente a nivel municipal. Algunas de ellas son: Council of Tree and Landscape Appraisal y i-Tree (EE. UU.), Standard Tree Evaluation Method (Nueva Zelanda), Norma Granada e ICONA (España), Amenity Valuation of Tree and Woodlands y CAVAT (Gran Bretaña), Método Francés, Método Italiano y Tedesco (Italia), Método Burnley (Australia), Método Danés, Método Suizo, Método Finés, Método Radó y Método Párkányi (Hungría) y de otros en países como Chile (COPIMA y otros municipios) y Argentina (Método Contato y otros municipios), y otras fórmulas basadas en modelos de capitalización (1, 6, 8, 12, 14, 15, 16, 21, 27, 28, 33).

No obstante, Donovan y Butry (2010) consideran que estos métodos son inferiores a las técnicas con base en precios hedónicos o de valoración contingente, así como los experimentos de elección discreta (13), que si bien pueden lograr determinar valores declarados con mayor precisión, son difíciles de construir y aplicar si son considerados los objetivos de actuación municipal.

La determinación del valor monetario de los árboles urbanos da soporte al desarrollo de un programa integral del manejo en la administración municipal (22). Por ello la necesidad del uso de estructuras fáciles de aplicar en la más amplia variedad de especies que en su estructura incorporen aspectos de estado del árbol (3), como de otras variables de tipo ambiental o de

funcionalidad del árbol, incluyendo significancia histórica o simbólica.

En los estudios relacionados con fórmulas para valorar el arbolado urbano, Watson (2002), destaca que los métodos CTLA y Burnley entregarían valores más bajos en comparación con la Norma Granada, Helliwell y STEM, siendo la subjetividad de los tasadores los que generarían las diferencias de las valoraciones, señalando que con el método Helliwell se obtienen valores más altos, mientras que las mayores variaciones son con STEM. Por su parte, Contato-Carol *et al.* (2008), compararon fórmulas de capitalización internacionales y argentinas, destacando que con la aplicación de los métodos Suizo y Finés se obtienen valores parecidos pero más altos, en comparación con CTLA que entregaría valores medios, mientras que si se aplica a especímenes grandes, toma valores más altos que el francés, y además, señalan que los métodos de capitalización sobrevaloran los árboles.

Por su parte, en Ponce-Donoso *et al.* (2012), donde se compararon tres fórmulas de valoración usadas por municipios chilenos con cuatro fórmulas internacionales, se constató que CTLA y dos locales presentarían los mejores desempeños, resultado que luego fue ratificado por Ponce-Donoso *et al.* (2013), quienes comparan estas fórmulas con otras cuatro nacionales.

A pesar de los cuestionamientos que se plantearon sobre el carácter subjetivo de la CTLA (10) se debe tener presente que estas incluyen consideraciones de tipo económico, de funcionalidad del árbol y de las características que le son propias al momento de realizar la valoración.

En Chile, la valoración del arbolado urbano tiene su principal aplicación en actuaciones realizadas por

municipalidades, que a través de los Juzgados de Policía Local se incorporan causas para buscar una compensación económica frente a hechos relacionados con la pérdida del bien público que representa el árbol urbano, producto de accidentes, vandalismo u otras causas (28).

Objetivos

Comparar los valores monetarios obtenidos en la aplicación de dos fórmulas chilenas y diez internacionales, a fin de contrastar sus desempeños para valorar el arbolado urbano y proponer el uso de algunas de ellas en la actuación municipal, de juzgados de policía local, cortes de justicia y de actividades profesionales.

Identificar si los evaluadores considerados tienen influencia en el resultado de las evaluaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio consideró el arbolado urbano público de tres comunas de Chile: Santiago, ubicada en la Región Metropolitana a 579 m s. n. m., con una superficie de 22,4 km² y 200,8 mil habitantes. La comuna de Talca, ubicada en la Región del Maule a 102 m s. n. m., con una superficie de 232 km² y 201,8 mil habitantes. La comuna de Concepción, ubicada en la Región del BioBio a 12 m s. n. m., con una superficie de 221,6 km² y 216,1 mil habitantes (2).

Se aplicaron 12 fórmulas para valorar monetariamente el arbolado urbano, dos que se utilizan en ciudades de Chile y 10 fórmulas de otros países recopiladas desde la literatura. Considerando que algunas de ellas son para

tasar especies específicas, al aplicarlas en conjunto el número máximo posible de especies a seleccionar fue de 24. Por la disposición de las especies en las tres ciudades consideradas, se tasaron 16 de las 24 especies factibles.

Las especies y especímenes seleccionados fueron elegidas al azar del espacio urbano del centro y sus alrededores en cada una de las ciudades, previendo la mayor variabilidad en cuanto a representación de especie, ubicación y condición.

El diseño se complementa con la participación de 4 evaluadores, todos ellos profesionales ingenieros forestales, quienes participaron en una jornada de inducción de la temática y fórmulas a aplicar.

El número total de evaluaciones realizadas ascendió a 1.440. Las características de los árboles evaluados se resumen en la tabla 1 (pág. 199).

El trabajo de campo se desarrolló durante los meses de diciembre de 2013 y febrero de 2014, donde se midió variables dendrométricas y se estimó variables relacionadas con la estética, condición sanitaria y ubicación. Además, se recopiló precios de venta en viveros locales, tanto al por mayor como al detalle y costos de mantenimiento anual, cuyo valor fue proporcionado por la Ilustre Municipalidad de Talca y complementado con información de la Ilustre Municipalidad de Santiago.

El costo de mantenimiento se calculó sobre la base de los costos anuales por poda y otras labores de manejo.

El precio en vivero de las especies fue el de mercado, con base a alturas promedio de venta minorista y mayorista (que logran un descuento del 30% del precio al detalle), en viveros ubicados en las regiones Metropolitana, Maule y BioBio.

Tabla 1. Características de los árboles seleccionados por ciudad.

Table 1. Characteristics of the selected trees by city.

Árbol (μ)	Nombre científico	Edad (años)	Ubicación (†)	Condición sanitaria
1	<i>Melia Azedarach</i> L.	30	CP	Buena
2	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	30	CS	Buena
3	<i>Acacia dealbata</i> Link	30	CP	Buena
4	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	40	CP	Buena
5	<i>Acer negundo</i> L.	20	CP	Mediana
6	<i>Platanus orientalis</i> L.	30	AV	Buena
7	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	50	CP	Buena
8	<i>Catalpa bignonioides</i> Walt.	75	PL	Mediana
9	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	9	CS	Buena
10	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.	35	AV	Buena
11	<i>Acer negundo</i> L.	24	CP	Mediana
12	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	25	PQ	Buena
13	<i>Ginkgo biloba</i> L.	111	PL	Buena
14	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	7	CS	Buena
15	<i>Catalpa bignonioides</i> Walt.	25	CP	Baja
16	<i>Quercus robur</i> L.	60	PQ	Mediana
17	<i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	28	PL	Buena
18	<i>Platanus orientalis</i> L.	100	CP	Buena
19	<i>Betula pendula</i> Roth	12	CP	Mediana
20	<i>Acacia dealbata</i> Link	32	CS	Buena
21	<i>Quercus robur</i> L.	60	PL	Buena
22	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	45	CP	Buena
23	<i>Acer negundo</i> L.	45	CS	Mediana
24	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	72	PQ	Buena
25	<i>Fraxinus americana</i> L.	40	PQ	Mediana
26	<i>Platanus orientalis</i> L.	80	CP	Buena
27	<i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	35	CP	Buena
28	<i>Betula pendula</i> Roth	20	PL	Baja
29	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	35	PL	Buena
30	<i>Catalpa bignonioides</i> Walt.	25	PQ	Baja

† AV: Avenida Principal; CP: Calle Principal; CS: Calle Secundaria; PQ: Parque; PL: Plaza.
 μ Árboles 1 al 10 ubicados en Santiago, 11 al 20 en Talca y 21 al 30 en Concepción.

† AV: Main Avenue; CP: Main Street; CS: Secondary Street; PQ: Park; PL: Square.

μ Trees 1 to 10 located in Santiago, 11 to 20 in Talca and 21 to 30 in Concepción.

Las fórmulas consideradas en este estudio son las siguientes:

Municipalidades de Concepción, La Pintana y Maipú (Chile, denominada en este artículo COPIMA).

$$\text{Valor (\$)} = (A * B * C * D) / 10$$

donde:

A = precio de la especie en el mercado local

B = valor estético y sanitario del árbol

C = índice de situación

D = índice de dimensiones

Municipalidad de Peñalolén (Chile).

$$\text{Valor (\$)} = 0,2 \text{ UTM} * e + A * B * VA$$

donde:

UTM = Unidad Tributaria Mensual

A = factor de localización

B = estado del árbol como porcentaje del daño presente

VA = valor del árbol, según especie y edad

Amenity valuation of tree and woodlands (Helliwell de Gran Bretaña).

El método valoriza las amenidades visuales en base a puntos de 1,0 a 4,0 para siete factores.

Valor (\$) = tamaño del árbol * expectativa de vida útil * importancia en el espacio * presencia de otros árboles * relación de otros factores * forma * monto en dinero.

Standard Tree Evaluation Method (STEM de Nueva Zelanda).

La fórmula utiliza un sistema de puntos en base a 20 atributos (3 a 27 puntos para cada uno) en aspectos de condición, amenidad y características especiales de notabilidad.

Valor (\$) = [total de puntos (540 posibles) * costo mayorista + costo de plantación + costo mantención] * factor de conversión minorista (sugerido 2).

Método Francés

Corresponde a un método que establece un índice relacionado con el mantenimiento y cuidado del árbol. Se basa en el método suizo, al que se incorpora una expresión en orden a fijar un valor monetario en parques y jardines privados.

$$\text{Valor (\$)} = E * B * U * D$$

donde:

E = índice de especie y variedad, basado en el precio de referencia en vivero

B = índice sanitario y estético

U = índice estético y de ubicación

D = índice de dimensión.

Método Italiano

$$\text{Valor (\$)} = P * I * S * C$$

donde:

P = precio de la misma especie en viveros locales

I = refleja el estado de salud y apariencia del árbol

S = índice de ubicación, rural o urbana

C = índice de tamaño

TEDESCO

$$\text{Valor (\$)} = Vb * ID * IP * IC * IIA * IE * IR$$

donde:

Vb = valor base relacionado con el precio de mercado

ID = índice de dimensión en función del DAP o circunferencia

IP = índice de posición

IC = índice de condición, que incluye distanciamiento entre árboles, desarrollo del árbol, estado vegetativo y daño

IIA = índice de compatibilidad ambiental, que considera variables de inserción en el paisaje, compatibilidad con el tipo de suelo y ejecución de la plantación

IE = índice de edad, que se relaciona con la edad que tienen el árbol que supera la edad promedio de la especie.

IR = índice de reducción por daño al fuste.

Norma Granada (de la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos)

La fórmula corresponde para árboles no sustituibles.

$$\text{Valor (\$)} = (\text{Vb} * \text{Els}) * (1 + \text{Ele})$$

donde:

Vb = valor básico del árbol, el que se determina con la función: $\omega * \mu * (0,0059 * p^2 + 0,0601 * p - 0,324)$

ω = coeficiente actualizado correspondiente a la especie, fijada para cada zona climática según Köppen:

μ = coeficiente corrector edafológico

p = perímetro del tronco a 1 m de altura

Els = factores intrínsecos del árbol (zona radical, tronco, ramas principales estructurales, ramas secundarias y terminales, hojas)

Ele = factores extrínsecos del árbol (estético y funcional, representatividad y rareza, situación)

Council of tree and landscape appraisal (de Estados Unidos).

El método considera el área de la sección transversal del tronco a 1,4 m sobre el nivel del suelo, multiplicado por un valor basado en el costo de la especie disponible en viveros regionales.

El valor es depreciado por factores tales como condición, ubicación y calidad.

Valor (\$) = (área del tronco (cm²) * precio básico/cm²) * especie * condición * localización

Donde el factor especie relaciona atributos del árbol: crecimiento, expectativa de vida, adaptabilidad a las condiciones ambientales, requerimientos de mantención, amenidades y otras. La condición se relaciona con las características de sanidad y vigorosidad del árbol. La ubicación corresponde al emplazamiento que el árbol tenga en la ciudad.

Método Burnley (de Australia).

Valor (\$) = volumen del árbol * valor base * expectativa de vida * forma y vigor * localización

Donde se le asignan una serie de puntos que se relacionan con el volumen del árbol, el que corresponde al de un cono invertido; al valor base, que es el costo por metro cúbico en viveros minoristas y demás factores de forma, vigor y localización.

Método Danés.

$$\text{Valor (\$)} = B * H * L * A$$

donde:

B = valor base, que se expresa como:

$$E + (P_n / C_n) * (C_d / C_n)$$

E = costos de establecimiento

P_n = precio de un árbol nuevo

C_n = circunferencia de un árbol nuevo

C_d = circunferencia del árbol evaluado

H = índice de salud, que se expresa como la condición de: $(r + t + rp + rs + f) / 25$, siendo raíces (r); tronco (t); ramas principales (rp); ramas secundarias y ramillas (rs), hojas y brotes (f)

L = índice de ubicación, que se expresa como: $(n + a + ve + v + fa) / 25$, siendo adaptación natural-ecológica (n); arquitectura (a); valor estético (ve); visibilidad (v) y factores ambientales (fa)

A = índice de edad, que se expresa $[((b - a) * 2) / b]^2$, donde a = edad actual; b = expectativa de vida.

Método Suizo

$$\text{Valor (\$)} = Pb * ID * IP * IES * IR$$

donde:

Pb = precio base

ID = índice de dimensión, en función a la circunferencia del tronco

IP = índice de ubicación, que varía desde el centro de la ciudad y una zona rural

IES = índice estético y condición sanitaria, que se relaciona con el vigor vegetativo y la condición sanitaria

IR = índice de reducción por daño, que se aplica como porcentaje sobre el tronco.

Para el análisis estadístico de los datos se usó el promedio y la mediana de la valoración, para las fórmulas y tasadores, ya que la mediana ayuda a reducir el impacto de los valores extremos. Se plantearon las siguientes hipótesis para las fórmulas de valoración y evaluadores:

- $H_0: \alpha_i = \alpha_j / i \neq j$;

(es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las fórmulas y de los evaluadores).

- $H_0: \alpha_i \neq \alpha_j / i \neq j$;

(es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las fórmulas y de los evaluadores).

Se usó análisis de varianza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las fórmulas de valoración, tanto para los ejemplares

analizados como para los tasadores. Dado que los supuestos de homocedasticidad y normalidad no se cumplieron en el análisis previo, debido a que se obtuvo un elevado coeficiente de variación (219,2%) y que el sesgo y curtosis estandarizado (6,8 y 65,6 respectivamente) superaron el valor límite preestablecido de 2,0, no fue posible aplicar estadística paramétrica, inclusive usando las transformaciones sugeridas por Kirk (1995). En estos casos se debe recurrir al análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis (5), el cual es menos sensible a la presencia de valores atípicos.

Los datos originales de las valoraciones obtenidas con la aplicación de las fórmulas son transformados a un ranking, dependiendo de su posición en el ordenamiento ascendente de los datos. Esto quiere decir que en el ranking 1 corresponde la menor valoración (USD 0,0) y el ranking 1.440 la mayor valoración (USD 81.188,9). El ranking intermedio corresponde a las valoraciones intermedias.

Se encontró diferencias significativas entre las fuentes de variación, por lo que se aplicó la prueba de diferencias mínimas (DMS; $p \leq 0,001$) descrito por Conover (1999). Para el análisis de los datos se utilizó los programas Microsoft Excel v. 2003 y Statgraphics Centurión v. XVI, ambos para Windows.

RESULTADOS

En la tabla 2 (pág. 204) se presentan los valores promedios de la aplicación de las doce fórmulas. Se aprecia que el mayor valor (USD 37.845,9) correspondió a la especie *G. biloba* L. con la fórmula de Helliwell, mientras que el menor (US\$ 24,8) fue para la especie *B. pendula* Roth con la fórmula CTLA. Ambos valores extremos se obtuvo en la ciudad de Talca.

El análisis de varianza de Kruskal-Wallis determinó que las fórmulas de valoración usadas presentaron diferencias estadísticamente significativas, cuyo estadígrafo fue de 682,7 ($p < 0,001$), mientras que para los evaluadores no hubo diferencia estadísticamente significativa y el estadígrafo fue de 2,1 ($p > 0,05$).

Se agrupó las doce fórmulas en seis grupos homogéneos (tabla 3, pág. 205 y figura 1a, pág. 205), mientras que para los tasadores fue solo en un grupo (tabla 3, pág. 205 y figura 1a, pág. 205).

DISCUSIÓN

La composición de las fórmulas sigue siendo la razón principal por la cual los resultados en promedio se presentan tan dispares (6, 27, 28, 33). Se rechaza la hipótesis nula, es decir, se encontró diferencias estadísticas entre las fórmulas; lo que conlleva a que se formen 6 grupos (A a F), lo que se debería a la composición de cada una de ellas y la ponderación que cada una de las variables tiene.

En cuanto a los tasadores, se acepta la hipótesis nula, ya que no se encontró diferencias estadísticas entre tasadores, conformándose un único grupo (G). Esto último es un hallazgo interesante, dado que mostró que en etapas iniciales vinculadas con labores de tasación, no se encontrarían diferencias.

Las fórmulas que presentaron la más alta dispersión de los valores son CTLA, N. Granada, M. Francés M. Italiano, M. Suizo y Tedesco (figura 1a, pág. 205) lo que permitió observar la capacidad que tienen para discriminar de manera más adecuada los individuos, ya sean grandes o pequeños, vigorosos o dañados, tal como lo señala Ponce-Donoso *et al.* (2013), lo anterior se debería al tipo de modelo que sustenta la fórmula (30).

La prueba DMS (tabla 3, pág. 205) permitió organizar las fórmulas en seis grupos homogéneos, siendo las fórmulas del M. Danés (Grupo A) y M. Francés (Grupo B) las que presentaron diferencias estadísticamente significativas de manera separada cada una de las otras fórmulas, en ambos casos resultaron ser los que presentaron los menores valores medios de las tasaciones. Este resultado es similar a lo encontrado por Ponce-Donoso *et al.* (2012), quienes compararon la aplicación de 7 fórmulas en 14 árboles con un único evaluador; 3 fórmulas chilenas y 4 extranjeras, las que se agruparon en 3 grupos, uno de ellos compuesto por CTLA, COPIMA y las usadas por el municipio de Peñalolén y la fórmula de Helliwell; mientras que en un segundo estudio (28), compararon 8 fórmulas (7 chilenas y una extranjera) también con un único evaluador, aplicadas a 28 árboles, agrupándose en 4 grupos uno de ellos compuesto por CTLA, COPIMA y a la usada por el Municipio de Renca.

De la composición de los demás grupos, más allá de cómo se ordenan en el ranking, llama la atención que CTLA componga grupo con M. Peñalolén y el M. Suizo y no con COPIMA, que fue uno de los resultados presentados por Ponce-Donoso *et al.* (2013), donde sugieren el uso para Chile de COPIMA por su similitud con CTLA y porque obtiene valores medios bajo, cuestión importante de considerar a la hora de su aplicación debido al ingreso real de la población. Por su parte, el M. Suizo, siendo una derivación del M. Francés, presentó valores promedios más altos en las tasaciones, cuyas diferencias los ubicaron en grupos separados.

COPIMA conforma un grupo con el M. Italiano con valores promedio medios, que se ubican en la medianía del ranking, le siguen la N. Granada que hace grupo con Tedesco; luego Burnley, Helliwell y STEM.

Tabla 2. Valoración por árbol (USD promedio).
Table 2. Monetary value by tree (USD average).

Árbol	M. Danés	M. Francés	CTLA	M. Suizo	M. Peñalolén	M. Italiano	COPIMA	N. Granada	Tedesco	Helliwell	STEM	Burnley
1	150,9	173,5	219,8	249,8	450,2	418,1	411,7	3.055,8	1.011,3	2.396,2	1.755,8	1.787,7
2	201,3	191,8	215,8	452,0	450,1	524,0	642,5	575,6	1.902,5	3.805,7	4.065,8	7.841,8
3	228,3	339,0	300,7	604,4	450,2	729,7	616,4	1.558,5	2.628,5	4.017,2	3.184,8	4.633,8
4	183,8	219,1	282,7	472,5	600,2	543,6	820,4	987,6	2.033,1	8.562,9	2.998,3	4.201,7
5	99,5	47,9	36,6	85,3	300,1	132,5	286,4	211,7	246,4	3.570,8	1.874,7	2.798,4
6	165,3	147,6	235,1	365,7	450,1	474,7	581,3	920,8	1.327,7	6.554,3	3.846,5	6.484,1
7	157,3	172,1	267,0	404,1	750,3	483,7	509,7	978,3	1.525,6	3.782,2	2.085,2	3.118,6
8	319,1	916,8	1.421,0	1.095,9	1.125,4	1.583,2	1.656,0	3.417,4	5.834,4	6.078,6	3.793,6	3.778,4
9	193,1	75,4	45,6	205,4	1.35,0	203,6	219,6	325,2	304,3	8.245,7	4.690,3	10.636,1
10	330,0	357,4	693,5	924,0	525,2	1.055,3	2.307,3	1.226,7	3.181,3	3.500,3	8.444,1	11.216,3
11	153,3	255,1	288,4	359,1	360,1	686,6	705,7	1.644,8	1.576,9	3.206,7	1.946,9	1.653,1
12	296,5	595,6	994,1	982,0	375,1	1.282,9	1.145,5	2.339,4	7.092,7	33.617,3	2.327,4	1.892,0
13	949,2	2.348,2	11.645,4	4.355,9	1.665,5	4.944,5	5.563,6	34.298,0	37.405,7	37.845,9	9.856,8	4.713,1
14	197,1	64,0	65,0	193,2	105,0	203,6	282,8	341,0	248,0	6.184,3	5.248,8	12.163,4
15	81,5	92,6	66,1	161,7	375,1	287,2	533,2	572,3	590,4	1.444,8	2.512,3	1.224,7
16	344,9	1.027,3	2.781,2	1.029,6	900,4	2.500,6	2.479,5	24.963,0	18.710,6	5.450,2	5.975,4	3.536,8
17	193,8	215,6	398,5	544,6	420,1	605,1	645,8	2.756,6	2.162,5	9.514,3	2.152,8	3.860,8
18	470,5	1.359,6	4.296,5	2.152,2	1.500,5	2.575,0	2.966,7	11.379,2	15.143,6	23.492,2	5.531,9	1.415,6
19	115,3	37,6	24,8	61,4	180,1	83,2	109,1	241,6	140,3	1.902,9	2.530,3	4.562,5
20	95,6	332,2	419,6	493,0	480,2	711,7	776,6	2.002,2	1.200,2	986,7	2.348,2	1.812,8
21	291,9	584,0	707,5	745,9	900,4	1.327,3	1.254,0	4.695,9	4.586,5	8.527,7	6.532,8	7.461,6
22	498,7	1.117,1	2.811,0	2.927,1	675,2	3.258,2	3.194,2	11.111,3	12.734,1	9.408,6	6.016,8	7.451,5
23	113,3	75,1	132,4	206,4	675,2	238,0	409,1	542,3	942,9	8.263,4	2.019,2	2.518,6
24	365,7	752,4	2.139,8	1.002,3	1.080,4	1.478,4	1.476,7	6.869,3	8.294,7	11.276,2	3.094,3	2.279,1
25	340,5	728,8	1.133,7	1.083,2	600,2	1.246,7	1.045,2	4.948,9	8.021,5	21.236,9	2.669,4	2.585,9
26	416,9	1.468,2	2.631,1	2.526,8	1.200,4	2.930,8	2.706,1	12.795,7	18.934,3	16.632,4	4.913,9	3.575,7
27	177,6	294,0	351,6	694,9	525,2	780,0	765,0	3.648,4	2.022,3	2.854,3	2.275,0	1.889,9
28	120,9	277,0	340,9	620,4	300,1	611,6	859,1	2.286,5	1.935,4	1.315,6	2.722,3	2.438,2
29	264,4	497,1	856,7	862,0	975,3	954,2	1.129,1	4.061,2	4.286,8	14.377,2	2.029,6	2.048,6
30	55,4	150,8	119,2	159,6	375,1	296,9	577,1	718,8	531,9	273,1	1.915,8	1.994,5

Tabla 3. Prueba de significancia mínima significativa (DMS) para fórmula y tasadores.
Table 3. Least significance difference (LSD) test for formula and appraisers.

Fórmula	Ranking Promedio	Grupos Homogéneos	Evaluador	Ranking Promedio	Grupos Homogéneos
M. Danés	256,9	A	Tasador 1	694,3	G
M. Francés	385,9	B	Tasador 2	722,6	G
CTLA	487,7	C	Tasador 3	730,1	G
M. Suizo	522,6	C	Tasador 4	735,0	G
M. Peñalolén	531,0	C			
M. Italiano	627,8	D			
COPIA	679,6	D			
N. Granada	923,8	E			
Tedesco	932,0	E			
Burnley	1.093,1	F			
Helliwell	1.093,6	F			
STEM	1.111,9	F			

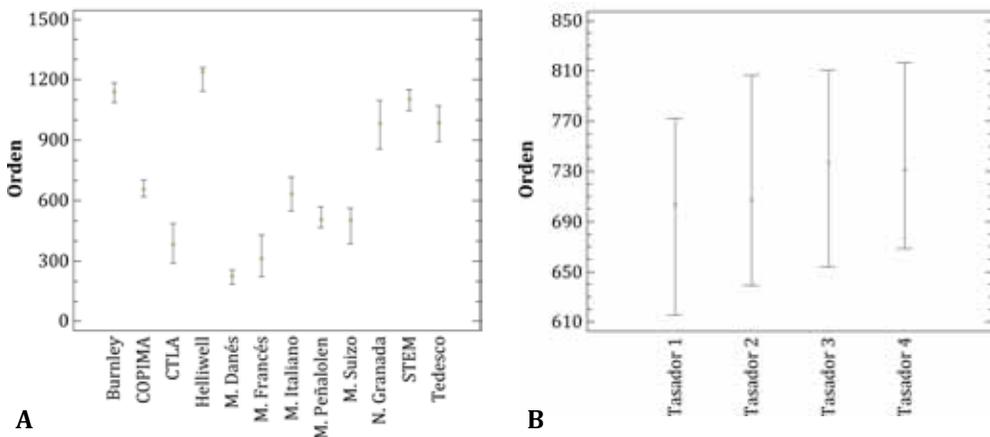


Figura 1. Mediana, error estándar y ranking a) fórmulas y b) tasadores.
Figure 1. Average, standard error and ranking a) formulas and b) appraiser.

En este último grupo destaca el hecho que Burnley se encuentre entre los valores más altos de la serie de tasaciones, ya que según Watson (2001), fue la fórmula que presentó menores valores respecto de las demás fórmulas estudiadas. En general estos métodos han presentado valores relativos altos en otros estudios realizados (27, 28).

Por otro lado, es posible deducir con estos resultados que la experiencia de los tasadores no influiría, al menos de manera agregada, en la agrupación de las fórmulas, cuyas diferencias obedece a la propia característica de la fórmula. Sin embargo, a fin de corroborar esta hipótesis, habría que replicar la metodología incorporando tasadores con mayor nivel de experiencia y

observar cómo se comportan las diferentes fuentes de variación, las fórmulas y los dos tipos de tasadores, tanto en el valor de las tasaciones, como en la agrupación en las que se disponen.

En consideración a los resultados, se sugiere analizar con mayor profundidad las fórmulas que presentaron un mejor desempeño, ampliando la base de evaluadores.

CONCLUSIONES

No se observó diferencias estadísticamente significativas entre tasadores sin experiencia, no siendo una fuente de variación relevante al momento de aplicar fórmulas para valorar el arbolado urbano, aceptándose la hipótesis nula planteada.

Se observó diferencias estadísticamente significativas entre las 12 fórmulas analizadas, siendo una fuente relevante de variación, conformándose seis grupos homogéneos, por lo cual se rechaza la hipótesis nula.

En general, las fórmulas logran rescatar las características de la especie a tasar, con lo cual se obtienen valores

más altos para especies que se aprecian de mayor valor y mejores características, de aquellos especímenes que se observan más disminuidos en los atributos que son considerados en las fórmulas.

Dado el desempeño que las fórmulas presentan, no es posible recomendar una en particular, ya que no se observa una fórmula que muestre una amplia capacidad de discriminación, que signifique obtener valores pequeños para árboles con un valor menor y cifras mayores para árboles con mayor valor monetario. Sin embargo, se recomienda el uso de CTLA, M. Francés, M. Italiano y N. Granada, ya que presentarían mayor capacidad de discriminación. Por lo cual el uso de una u otra dependerá de las variables que se deseen relevar y del monto en dinero que se estime como compensación al momento de la tasación.

Finalmente, se requiere ampliar el estudio de las fórmulas presentadas, incorporando un equipo de evaluadores con más experiencia y ampliar el número de tasaciones, de forma que permitan mejorar el análisis de las diferencias encontradas de las fuentes de variación y sus interacciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP). 2007. Norma Granada. Método para valoración de árboles y arbustos ornamentales. 3ª Ed. Madrid. 53 p.
2. Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). Reportes Estadísticos Distritales y Comunales 2013. Disponible en: <<http://reportescomunales.bcn.cl>>. Acceso: 10 enero. 2014.
3. Caballer, V. Valoración de Árboles. Madrid. Mundi-Prensa. 1999. 247 p.
4. Cullen, S. Putting a value on trees – CTLA guidance and methods. 2007. Journal of Arboriculture. 30: 21-43.
5. Conover W. 1999. Practical nonparametric statistics. 3th Edition. New York, USA. John Wiley. 584 p.
6. Contato-Carol, M. L.; Ayuga-Tellez, E.; Grande-Ortiz, M. A. 2008. A comparative analysis of methods for the valuation of urban trees in Santiago del Estero, Argentina. Spanish Journal of Agricultural Research. 6: 314-352.
7. Cordell, H.; Anderson, L.; Berisford, C.; Berisford, Y.; Biles, L.; Black, P.; De Graaf, R.; Deneke, F.; Dewers, R.; Gallaher, J.; Grey, G.; Ham, D.; Herrington, L.; Kielbaso, J.; Moll, G.; Mulligan, B. 1984. Urban Forestry, Section 16. In: Forestry Handbook, Wenger, K. (ed). 1984. Washington. 2th Edition. Wiley Interscience. 1984. 887-983 p.

8. CTLA (Council of Tree & Landscape Appraiser, US). 2000. Guide for Plant Appraisal (9th Ed.) International Society of Arboriculture. Champaign. IL. 143 p.
9. Cullen, S. 2005. Tree appraisal: chronology of North American industry guidance. *Journal of Arboriculture*. 31: 157-162.
10. Chueca, J. 2001. La Norma Granada: un método de valoración económica de los árboles ornamentales. Disponible en: <www.drac.com/pers/chueca/Granada.htm>. Acceso en: 15 oct. 2007.
11. Dobbs, C.; Escobedo, F.; Zipperer, W. C. 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*. 99: 196-206.
12. Donovan, G.; Butry. D. 2000. Tree in the city: Valuing street trees in Portland, Oregon. *Landscape and Urban Planning*. 92: 77-83.
13. 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.
14. Flook, R. A Standard Tree Evaluation Method – STEM. 1996. *Journal of the New Zealand Institute of Horticulture*. 1: 29-37.
15. Grande-Ortiz, M.; Ayuga-Tellez, M.; Contato-Carol, M. 2012. Methods of tree appraisal: a review of their features and application possibilities. *Arboriculture & Urban Forestry*. 38: 130-140.
16. Hegedüs, A.; Gaál, M.; Bérces, R. 2011. Tree appraisal methods and their application first results in one Budapest's districts. *Applied Ecology and Environmental Research*. 9: 411-423.
17. Kirk, R. 1995. *Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences*. 3th Edition, Pacific Grove: Brooks/Cole Publishing Company and International Thompson Publishing Company. California, United States. 921 p.
18. Konijnendijk, C.; Syaka, S.; Randrup, T.; Schipperijn, L. 2004. Urban and peri-urban forestry in the development context: strategic and implementation. *Journal of Arboriculture*. 30: 269-276.
19. Konijnendijk, C.; Kjell, N.; Randrup, T.; Schipperijn, L. 2005. *Urban Forest and Trees*. Amsterdam, Holanda. Springer Verlag. 520 p.
20. Miller, R. W. 1997. Planeamiento del enverdecimiento urbano. Capítulo 4. En: Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Krishnamurthy L, y J. Rente Nacimiento (Eds.). Banco Interamericano de Desarrollo (BID), México. p. 83-108.
21. Moore, G. M.; Arthur. T. 1992. Amenity tree evaluation: A revised method. In: Arthur, T. (ed.) *The Scientific Management of Plants in the Urban Environment*. Proceedings of the Burnley Centenary Conference. Centre for Urban Horticulture. Melbourne, Australia. p. 166-171.
22. Nowak, D. J. 1993. Compensatory value of an urban forest: an application of the tree-value formula. *Journal of Arboriculture*. 19: 173-177.
23. Nowak, D.; Crane, D.; Dwyer, J. 2002. Compensatory value of urban trees in the United States. *Journal of Arboriculture*. 28: 194-199.
24. Pauleit, S.; Jones, N.; García-Marín, G.; García-Valdecantos, J. L.; Riviére, L. M.; Vidal-Beaudet, L.; Bodson, M.; Raundrup, T. 2002. Tree establishment practice in towns and cities: results from European survey. *Urban Forest and Urban Greening*. 1: 83-96.
25. Petersen, K.; Straka, T. 2011. Specialized discount cash flow analysis formulas for valuation of benefits and cost of urban trees and forest. *Arboriculture & Urban Forestry*. 37: 200-206.
26. Ponce-Donoso, M.; Moya, L; Bustos-Letelier, O. 2009. Evaluation of formula for the appraisal of urban trees in municipalities of Chile. *Scientia Forestalis*. 37: 321-329.
27. Ponce-Donoso, M.; Vallejos-Barra, O.; Daniluk-Mosquera, G. 2012. Comparación de fórmulas chilenas e internacionales para valorar el arbolado urbano. *Revista Bosque*. 33: 69-81.
28. Ponce-Donoso, M.; Vallejos-Barra, P.; Daniluk-Mosquera, G.; Avilés-Palacios, C. 2013. Comparison of seven Chilean formulae for urban tree appraisal. *Agrociencia*. 47: 723-737.
29. Price, C. 2003. Quantifying the aesthetic benefits of urban forestry. *Urban Forest and Urban Greening*. 1: 123-134.
30. Randrup, T. B. 2005. Development of Danish model for plant appraisal. *Journal of Arboriculture*. 31: 114-123.

31. Tyrväinen, L. 2001. Economic valuation of urban forest benefits in Finland. *Journal of Environmental Management*. 62: 75-92.
32. Tyrväinen, L.; Silvennoinen, H.; Kolehmainen, O. 2003. Ecological and aesthetic value in urban forest management. *Urban Forest and Urban Greening*. 1: 135-149.
33. Watson, G. 2001. A study of CTLA formula Values. *Journal of Arboriculture*. 27: 289-297.
34. Watson, G. 2002. Comparing formula methods of tree appraisal. *Journal of Arboriculture*. 28: 11-18.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología de Chile (FONDECYT) por el apoyo recibido para la ejecución del Proyecto 1130264.

Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México

Spatial distribution of gladiolus rust (*Uromyces transversalis*) during spring-summer cycle in the southeast region of the state of Mexico

Rosalba Quiñones-Valdez ¹, Jesús Ricardo Sánchez-Pale ², Ana Karen Pedraza-Esquivel ³, Alvaro Castañeda-Vildozola ², Omar Franco-Mora ²

Originales: *Recepción*: 28/01/2015 - *Aceptación*: 20/11/2015

RESUMEN

La roya transversal (*Uromyces transversalis*) afecta al follaje y demerita la calidad de la flor del gladiolo (*Gladiolus* spp.) lo cual provoca fuertes daños económicos en la producción y puede llegar a causar la pérdida total del cultivo. Los estudios de análisis espacial de enfermedades son fundamentales para planificar estrategias de manejo, mejorar los métodos de muestreo y determinar las pérdidas actuales o potenciales de producción. El objetivo del presente trabajo fue analizar la distribución espacial de roya transversal en los municipios de Tenancingo, Villa Guerrero y Ocuilan en la región sureste del Estado de México durante el ciclo primavera-verano de los años 2013 y 2014, con técnicas geoestadísticas. Se determinó el nivel de severidad que expresaron las plantas en 121 puntos de muestreo georreferenciación por cada parcela evaluada. La roya presentó una distribución espacial de tipo agregada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo donde se expresó, en los dos años de estudio. El modelo que mejor describió la dependencia espacial fue el de tipo gaussiano, seguido del esférico.

Palabras clave

Uromyces transversalis • gladiolo • semivariograma

-
- 1 Alumna del Programa de Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo Toluca 50200, Estado de México, México.
 - 2 CIEAF, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. jrsanchezp@uaemex.mx
 - 3 Alumna de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.

ABSTRACT

Gladiolus rust, caused by *Uromyces transversalis*, affects foliage and reduces flower quality of *Gladiolus* spp.; this can lead to severe economic loss because of reduced yields, and even total crop loss. Spatial analysis studies of this disease are fundamental in order to plan strategies to manage crop health, improve sampling methods, and determine both current and potential production losses. The aim of this study was to analyze the spatial distribution of rust using geostatistical techniques in the municipalities of Ocuilan, Tenancingo and Villa Guerrero, in the southeastern region of the State of Mexico, during the spring-summer growing cycles of 2013 and 2014. The severity level of the disease was estimated at 121 georeferenced sampling points within each evaluated area. *Gladiolus* rust showed an aggregated spatial distribution in the different crop phenological stages during which it expressed throughout the two years of the study. The spatial dependency model was best described by the Gaussian model, followed by the spherical one.

Keywords

Uromyces transversalis • *gladiolus* • semivariogram.

INTRODUCCIÓN

La región sureste del estado de México es la principal productora de flor de corte en México. Se caracteriza por el cultivo de diversas especies ornamentales de alto valor económico como rosa, clavel y gladiolo. Su producción y venta se concentran en fechas clave de venta como son la celebración del día de la madre, del padre y de muertos, aunque para el mercado internacional se produce durante todo el año (15).

El cultivo de gladiolo (*Gladiolus* spp.) es considerado la principal flor de corte, su cultivo es una fuente generadora de empleo y divisas. Por la importancia social y económica que representa este cultivo es de vital importancia atender a los factores que limitan su producción como son los insectos plaga y enfermedades. Dentro de las enfermedades, se destacan el secamiento causado por *Fusarium* spp. y la roya transversal ocasionada por *Uromyces*

transversalis (Thumen) G. Winter. La roya es considerada una enfermedad de tipo cuarentenario en México y norte del continente Americano (12) que demanda una fuerte cantidad de insumos agrícolas para su manejo (3).

La roya afecta al follaje del gladiolo y demerita la calidad de la flor para su comercialización, provocando fuertes daños económicos en la producción, así como un decremento en las exportaciones (16) y puede causar la pérdida total del cultivo (17). La enfermedad se manifiesta principalmente en las hojas y tallos de la planta, que presentan pústulas dispuestas en forma transversal a las nervaduras de la hoja (2), con polvo amarillo-naranja (urediosporas). Las pústulas llegan a unirse formando manchas más grandes, conforme avanza el daño, las lesiones se tornan de color café-oscuro y finalmente se observa necrosis.

La diseminación de la enfermedad ocurre a partir de cormos, rizomas y flores contaminados con esporas de la roya, así como hojas y tallos infectados (12). Este patógeno causa daños superiores al 60%, si la infección ocurre en etapas tempranas se puede presentar una reducción en la calidad de la flor y en el tamaño del cormo. Su presencia en etapas tardías impacta en la diseminación de la enfermedad, a través del cormo infestado, a otras parcelas o regiones (10). Su control se ha realizado con fungicidas de origen químico, sin considerar los patrones espaciales que presenta.

Los estudios de distribución espacial son fundamentales para planificar las estrategias adecuadas de manejo de la roya del gladiolo, mejorar los métodos de muestreo, determinar las pérdidas actuales y potenciales de producción del cultivo y adoptar técnicas de agricultura de precisión. En este sentido, los métodos geoestadísticos proporcionan una medida directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional (Coordenadas X e Y), de la distribución de los organismos (18) y permiten elaborar mapas de su distribución espacial (5). Los mapas ayudan a direccionar las alternativas de control hacia zonas específicas donde *a priori* se espera o existe una mayor probabilidad de presentarse la enfermedad, o se pueda extender.

En México, se carece de información sobre el comportamiento espacial de la roya transversal del gladiolo a nivel de parcela. Por tanto, es importante generar datos de los patrones espaciales a través del ciclo de producción que puedan ser visualizadas mediante mapas. Así, los objetivos del presente estudio fueron: 1) analizar la distribución espacial de la roya transversal con el uso de técnicas geoestadísticas y 2) obtener mapas que permitan la visualización de los patrones espaciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis espacial de la roya transversal del gladiolo, se realizó durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2013 y 2014, cuya flor se destina a la comercialización en la fecha conmemorativa del día de padre. El trabajo se llevó a cabo en los municipios de Tenancingo, Villa Guerrero y Ocuilan, con antecedentes de la presencia de la enfermedad. En cada municipio se realizó tres muestreos en las siguientes etapas fenológicas del cultivo, a) a los 30 Días Después de la Siembra (DDS, etapa vegetativa), b) a los 55 DDS (etapa de espata) y c) a los 80 DDS (etapa de floración) en dos parcelas comerciales, sembradas con la variedad roja Borrega.

En cada parcela se estableció una malla de 100 m por cada lado, donde se marcaron puntos de muestreo a cada 10 m, para un total de 121/parcela. En cada punto se determinó la severidad de la enfermedad en la planta de gladiolo. La escala diagramática de severidad estuvo construida de seis grados con base al porcentaje de daño sobre el tejido de hoja: 1(sano, sin síntomas visibles), 2 (<15% área foliar dañada), 3(16 a 30%), 4(31 a 45%), 5(46 a 60%) y 6(>60%). La incidencia (%) se determinó como el cociente entre plantas con síntomas de roya y el total de plantas muestreadas, multiplicado por 100.

Las plantas fueron ubicadas geográficamente mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (dGPS) (Modelo SPS351, Trimble, USA). Se analizó los valores de la severidad de la enfermedad por cada fecha de muestreo. Se realizó una exploración estadística de los datos originales de la severidad de la enfermedad para determinar la normalidad de los datos y proceder a su análisis estadístico.

Análisis geoestadístico

El análisis geoestadístico consistió en: 1) estimación del semivariograma; 2) estimación de los parámetros del modelo de semivariograma; 3) estimación de la superficie (mapas) utilizando puntos (estimaciones) a partir del kriging.

La estimación del semivariograma se hizo con los datos de la severidad determinada en los sitios de muestreo; el valor experimental del semivariograma se calculó en base a lo establecido por Isaaks y Srivastava (1989):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \left[[z(x_i) + h] - z(x_i) \right]^2$$

donde:

$\gamma^*(h)$ = valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h .

$N(h)$ = número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h .

$z(x_i)$ = valor de la variable de interés en el punto muestral x_i y $z(x_i+h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h .

A este semivariograma se le denomina experimental y se ajustó a un semivariograma teórico preestablecido.

El semivariograma experimental fue obtenido a través del programa VarioWin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring, NY, USA).

Para determinar el valor de la relación espacial entre los datos obtenidos en los muestreos se calculó el nivel de dependencia espacial. Este valor se obtiene al dividir el efecto pepita y la meseta, expresado en porcentaje: con menos de 25% es alto; entre 26 y 75% es moderado y mayor a 76% es bajo (9).

Mapas de densidad

Se utilizó el Kriging con la finalidad de estimar los valores insesgados a puntos que no fueron muestreados para la elaboración de mapas de densidad, que permiten visualizar el comportamiento espacial de la roya transversal en el cultivo de gladiolo, en cada uno de los muestreos de los tres municipios analizados. Las estimaciones de la densidad de la enfermedad en las diferentes etapas fenológicas por parcela fueron representadas en un mapa a través del programa Surfer 9.0. (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street Golden, CO, 804011866, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los muestreos realizados en las tres etapas fenológicas, la presencia de roya transversal del cultivo del gladiolo se presentó hasta la etapa de floración en el año 2013, mientras que para el ciclo 2014 se presentó a partir de la etapa de espata. En los tres municipios evaluados, la presencia de la enfermedad coincidió con el inicio de la temporada de lluvias en los dos años de estudio.

En el ciclo 2013, la enfermedad alcanzó niveles de incidencia del 100% en Tenancingo (tabla 1, pág. 213), mientras que en Villa Guerrero (tabla 3, pág. 214) se presentaron los menores niveles, ambos en la etapa de floración. Respecto de la severidad, hubo variaciones en los dos años de estudio, en Tenancingo se manifestaron las mayores intensidades (3,85), mientras que las menores se vieron en la parcela uno de Villa Guerrero y en Ocuilan (tabla 2, pág. 213). En la parcela uno de Ocuilan no se presentó la enfermedad durante todo su ciclo.

Tabla 1. Densidad y parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo de roya en el cultivo de gladiolo en Tenancingo, México, durante el ciclo primavera-verano 2013 y 2014.

Table 1. Density and parameters of the models fitted to the semivariograms obtained in gladiolus rust sampling, during spring-summer 2013-2014, in Tenancingo, Mexico.

Parcela	DDS ^a	Incidencia (%)	Severidad (media)	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/Meseta %	Nivel de Dependencia
2013									
1	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	91,08	2,95	Gaussiano	0	1,45	3,95	0	Alto
2	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	100,0	3,85	Gaussiano	0	1,38	3,45	0	Alto
2014									
1	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	93,63	3,47	Gaussiano	0	1,79	4,07	0	Alto
2	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	9,55	1,21	Gaussiano	0	0,53	4,53	0	Alto
	80	94,27	3,08	Gaussiano	0	1,66	4,20	0	Alto

^aDDS: Días después de la siembra.

^aDDS: Days after sowing

Tabla 2. Densidad y parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo de roya en el cultivo de gladiolo, en Ocuilan, México, durante el ciclo primavera-verano 2013 y 2014.

Table 2. Density and parameters of the models fitted to the semivariogramas obtained in gladiolus rust sampling, during spring-summer 2013-2014, in Ocuilan, Mexico.

Parcela	DDS ^a	Incidencia (%)	Severidad (media)	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/Meseta %	Nivel de Dependencia
2013									
1	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-
2	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	91,08	2,65	Gaussiano	0	1,02	3,01	0	Alto
2014									
1	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	3,18	1,10	Gaussiano	0	0,43	5,15	0	Alto
2	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	12,74	1,14	Esférico	0	0,14	1,98	0	Alto
	80	36,30	1,65	Gaussiano	0	0,44	5,18	0	Alto

^aDDS: Días después de la siembra.

^aDDS: Days after sowing

Tabla 3. Densidad y parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo de roya en el cultivo de gladiolo en Villa Guerrero, México, durante el ciclo primavera-verano 2013 y 2014.

Table 3. Density and parameters of the models fitted to the semivariograms obtained in gladiolus rust sampling, during spring-summer 2013-2014, in Villa Guerrero, Mexico.

Parcela	DDS ^a	Incidencia (%)	Severidad (media)	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/Meseta %	Nivel de Dependencia
2013									
1	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	86,62	2,90	Gaussiano	0	1,97	5,02	0	Alto
2	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	86,62	1,95	Gaussiano	0	0,54	2,20	0	Alto
2014									
1	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	0,64	1,01	Gaussiano	0	0,01	13,98	0	Alto
	80	4,46	3,92	Esférico	0	1,52	5,51	0	Alto
2	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	100,0	1,08	Gaussiano	0	0,20	4,61	0	Alto
	80	100,0	4,60	Exponencial	0	0,01	2,58	0	Alto

^aDDS: Días después de la siembra.

^aDDS: Days after sowing

En 2014, la mayor severidad se documentó en las parcelas de Villa Guerrero, mientras que en Ocuilan se cuantificaron los menores daños de la roya. Respecto de la incidencia de la enfermedad, en Villa Guerrero se presentaron niveles de 4,46 a 100% en la etapa de floración para las dos parcelas evaluadas, aunque su presencia se registró desde la etapa de espata, comportamiento similar se observó en las parcelas de Tenancingo, aunque la enfermedad se expresó por arriba del 90% en ambas parcelas. En Ocuilan, se presentaron las menores incidencias de la roya que fluctuaron de 3,18 a 36,30% al final del ciclo (tabla 2, pág. 213).

El alto nivel de dependencia espacial determinada en los diferentes modelos obtenidos durante los dos años de estudio son un indicativo de la relación espacial

que se presentó entre los datos de severidad determinados en cada punto de muestreo, es decir, los niveles de severidad de la roya se expresan de forma agregada en la parcela, la cual fue explicada con los semivariogramas determinados, logrando modelizar su distribución. Los modelos de los semivariogramas obtenidos variaron entre las tres localidades evaluadas y entre las diferentes fechas de muestreo de la enfermedad.

Los diferentes tipos de modelo ajustados entre las fechas de muestreo y aún entre años pueden deberse a la disponibilidad de inóculo en cada parcela y a factores medioambientales (18).

El modelo que mejor describió la dependencia espacial fue el de tipo gaussiano, seguido del esférico (tabla 2, pág. 213 y tabla 3).

El modelo gaussiano describió la variabilidad espacial y la capacidad de diseminación de la roya del gladiolo en corto tiempo, en forma específica de la etapa de espata a la etapa de floración (25 días) en Villa Guerrero y Tenancingo, así como la presentada hasta la etapa de floración en Ocuilan. La alta continuidad espacial se explicó con la extensión radial que ocupó, es decir, la aparición de la enfermedad en una planta llevó a la infección de las plantas vecinas (1) hasta un límite debido al tiempo de duración de la epidemia, o en otros casos, a la duración o fin del cultivo. Los modelos gaussiano indicaron que, la distancia máxima a la cual los valores de severidad de la roya muestran dependencia espacial se ubicaron en un rango del semivariograma de 2,20 a 5,02 m para el año 2013, mientras que para el año 2014 su rango fue de 4,07 a 13,98 m. Los valores pequeños en el rango son indicativos de una variabilidad espacial en pequeña escala, mientras que un valor mayor indica la existencia de variabilidad espacial sobre una escala mayor (8). De acuerdo con lo señalado por Moreno-López (2009) los puntos de muestreo que disten menos en su valor del rango entre sí, tendrán valores de severidad más semejantes que los correspondientes a los puntos que estén más separados. Por otro lado, la reducción en valor del rango del semivariograma en la etapa fenológica de floración (tabla 3, pág. 214) puede ser explicada por el uso continuo de diversos fungicidas para obtener flor con los requerimientos que demanda el mercado.

Los modelos esféricos encontrados en los patosistemas de Ocuilan (etapa de espata en la parcela dos) y Villa Guerrero (etapa de floración de la parcela dos) presentaron una dependencia espacial en rango del semivariograma de 1,98 y 5,52 m, respectivamente. Este modelo

ajustado se obtuvo con incidencias de la enfermedad por abajo del 12,74%. La modelización encontrada en el presente trabajo concuerda con lo reportado por Johnson *et al.* (2007) quienes describieron la variabilidad espacial del patosistema *Puccinia melanocephala*-caña de azúcar con modelos esféricos. Este modelo indica que la enfermedad se disemina a partir de una fuente primaria de inóculo que se expresa, en términos espaciales, en un patrón agregado (5). La agregación obtenida indica la existencia de zonas o puntos dentro de la parcela donde la enfermedad se manifiesta con mayor intensidad respecto del resto de puntos muestreados. Lo anterior, supone la existencia de condiciones ambientales favorables (corno infestado, diferencias en el relieve de la parcela que permite la acumulación de agua de riego o lluvia, etc.) o características de susceptibilidad dentro del genotipo del gladiolo que permiten una mayor expresión de la roya.

Únicamente en la etapa de floración en la parcela dos de Villa Guerrero se obtuvo un ajuste de la distribución espacial de la severidad de la roya al modelo exponencial. Dicho modelo indica que la distribución espacial de la roya tiene límites irregulares dentro de la parcela, es decir, expresa una distribución espacial discontinua. A pesar de tratarse de otro patosistema, la modelización con el modelo exponencial en el presente estudio, concuerda con lo reportado por Carvalho *et al.* (2009) con la roya del café (*Hemileia vastratix*) y por Twizeyimana *et al.* (2008), con la roya de la soya (*Phakopsora pachirhizi*).

En todos los modelos obtenidos se presentó un efecto pepita igual a cero, que de acuerdo con Twizeyimana *et al.* (2008), puede ser interpretado como un alto nivel de agregación de la severidad de la enfermedad; además es indicativo que el error

de muestreo fue mínimo y la escala de muestreo utilizada fue la adecuada.

Se observó que los patrones espaciales de distribución de la roya cambiaron a través del ciclo fenológico del cultivo de gladiolo durante el año 2014, pasando de un modelo de tipo gaussiano en la etapa fenológica de espata, a un modelo esférico o exponencial en la etapa de floración (tabla 2, pág. 213) o de esférico a gaussiano (tabla 3, pág. 214). Posiblemente ocasionado por los cambios en la incidencia o severidad de la enfermedad y al manejo que realizó el productor: eliminación de las primeras plantas enfermas, aplicaciones de fungicidas cada tercer día y el manejo del agua de riego.

Los mapas obtenidos por medio del kriging ordinario permitieron observar el comportamiento espacial en focos de agregación de la severidad de la roya transversal del gladiolo en las diferentes parcelas evaluadas durante el ciclo primavera-verano de los dos años de estudio (figura 1, pág. 217-218), así como los gradientes de la enfermedad que permiten su visualización.

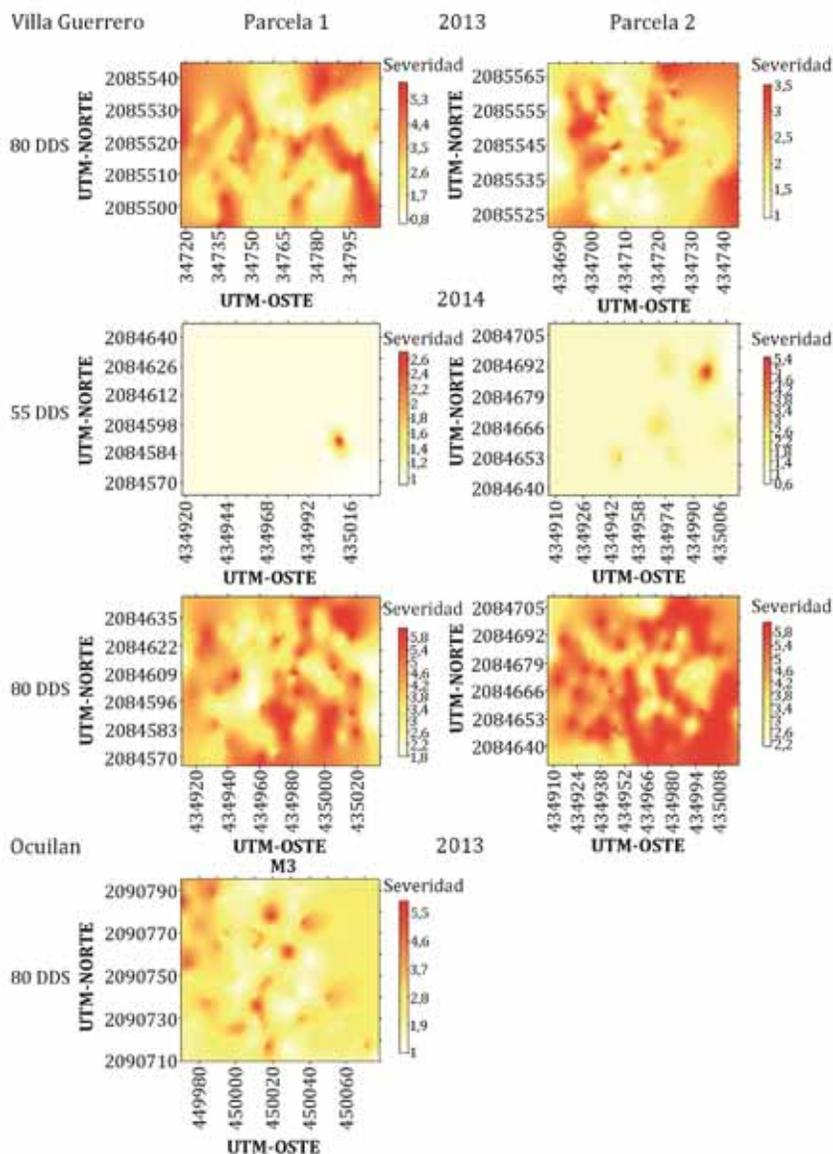
En todos los mapas se logró visualizar la dinámica de avance de la enfermedad en el cultivo de gladiolo, de acuerdo con los valores que presentó el rango del semivariograma de la etapa fenológica de espata a floración. En el mapa obtenido en la parcela uno de Villa Guerrero en el ciclo 2013, se observó la presencia de centros de agregación distribuidos en la región este a oeste de la parcela, mientras que en la segunda parcela, se ubicaron en el centro de la parcela. En Tenancingo, los centros de agregación se ubicaron en la región noroeste y un centro de agregación en la región sureste de la parcela uno.

En la parcela dos, se observó la presencia de un centro de agregación en la región noroeste con tendencia a

distribuirse hacia el sureste. En Ocuilan, los centros de agregación de la parcela dos, se ubicaron en la región noroeste y ligeros centros de agregación en la región suroeste con tendencia hacia la región este.

En 2014, los centros de agregación de la parcela uno de Villa Guerrero se ubicaron al sureste, en la etapa de espata, mientras que para la etapa de floración, los centros de agregación se distribuyeron por toda la parcela (figura 1, pág. 217-218). En la segunda parcela, se observó que los centros de agregación se ubicaron al este, para distribuirse por toda la parcela en la etapa de floración. En Tenancingo, la parcela dos mostró los centros de agregación al noroeste y sureste durante la etapa de espata, en tanto que para la etapa de floración se distribuyeron por toda la parcela, siendo este último efecto similar para la parcela uno. Finalmente, en Ocuilan, los centros de agregación observados fueron muy evidentes y se situaron del noroeste a la región sur de la parcela dos durante la etapa de espata, manteniendo su patrón de distribución de los centros de agregación para la etapa de floración (figura 1, pág. 217-218). Mientras que en la parcela uno, los centros de agregación se ubicaron de noreste hacia la parte suroeste de la parcela, en la etapa de floración.

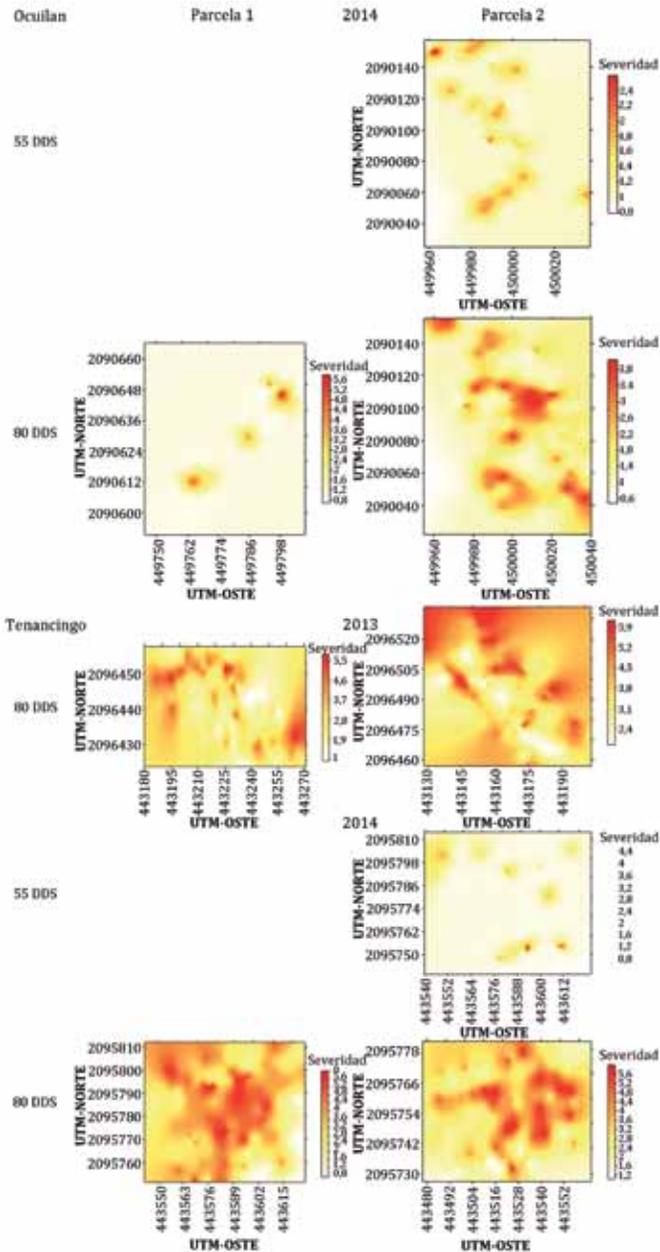
La agregación visualizada con los mapas indicó que la estrategia de manejo debe fundamentarse de acuerdo con la perspectiva de sitio o punto específico (4), excluyendo las aspersiones totales sobre toda la parcela. En este mismo sentido, una estrategia importante del manejo de la enfermedad es analizar sus patrones espaciales de distribución, porque pueden proporcionar información importante sobre la ecología del patógeno (ejemplo: dirección y distancia de avance o importancia y proximidad de las fuentes de inóculo).



DDS: días después de la siembra. DDS: days after sowing.

Figura 1. Mapas de severidad de la roya transversal del gladiolo obtenidos en diferentes fechas de muestreo por parcela en tres municipios del Estado de México.

Figure 1. Maps of the severity of gladiolus rust obtained at different sampling dates per plot in three municipalities of the State of Mexico.



DDS: días después de la siembra. DDS: days after sowing.

Figura 1 (cont.). Mapas de severidad de la roya transversal del gladiolo obtenidos en diferentes fechas de muestreo por parcela en tres municipios del Estado de México.

Figure 1. (cont.). Maps of the severity of gladiolus rust obtained at different sampling dates per plot in three municipalities of the State of Mexico.

Los resultados sugieren realizar aplicaciones preventivas en los puntos iniciales de infestación, que seguramente tendría un efecto en el cambio de los patrones espaciales del ciclo, de igual forma se sugiere realizar aplicación con fungicidas curativos al inicio de los síntomas y de forma focalizada, y no eliminar la planta, pues solo diseminan a este tipo de enfermedad. Además, de un adecuado manejo del agua al tratar de mejorar la nivelación del relieve del terreno, sobre todo donde están los focos de infestación. Así mismo, permite dirigir las actividades de muestreo sobre las áreas o sitios específicos (13) y aplicar diversas acciones de control de la enfermedad de forma precisa a áreas específicas de infestación, como el uso de antagonistas y biofumigación (14) así como a reservorios o fuentes de inóculo que originan su posterior propagación. Esto representa las bases iniciales de protección vegetal en "sitios específicos", permitirá lograr ahorros económicos y un menor impacto al ambiente al reducir el uso de fungicidas en su manejo. El empleo de fungicidas de contacto hasta la etapa de espata e inicio de la temporada de lluvias, la aplicación con fungicidas curativos al inicio de los síntomas y el direccionamiento de las actividades de muestreo, permitirían justificar el uso de las técnicas de la agricultura de precisión para mantener bajo control los daños causados por la roya en la principal región productora de gladiolo en México. Este manejo tiene el potencial de reducir el uso de agroquímicos y de retardar el desarrollo de la resistencia (6).

La fiabilidad de los resultados obtenidos se verá fortalecida con los análisis que se realicen en los dos siguientes años, que permitan determinar la posible estabilidad espacial de la enfermedad en el mismo punto inicial de

infestación. Dicho resultado dará sustento a una predicción en términos espaciales para los posteriores cultivos de gladiolo.

CONCLUSIONES

La roya transversal del gladiolo presentó una distribución espacial de tipo agregada en los dos años de estudio. El modelo que mejor describió la distribución espacial fue el de tipo gaussiano, seguido del esférico.

Los mapas obtenidos permitieron observar el comportamiento espacial en focos de agregación de la severidad de la roya transversal del gladiolo así como sus gradientes. Además, se visualizó la dinámica de avance de la enfermedad de acuerdo con los valores que presentó el rango del semivariograma desde la etapa fenológica de espata a floración.

La agregación visualizada con los mapas indicó que la estrategia de manejo debe fundamentarse desde la perspectiva de sitio o punto específico, excluyendo las aspersiones totales sobre toda la parcela.

La agregación de la enfermedad posibilita direccionar las actividades de muestreo y aplicar diversas acciones de control de la enfermedad, de forma precisa a áreas específicas de infestación y/o fuentes de inóculo que originan su posterior propagación. Esto justifica el uso de las técnicas de agricultura de precisión para mantener bajo control los daños causados por la roya en la principal región productora de gladiolo en México.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alves, M. C.; Pozza, E. A.; Mahado, J. C.; Araújo, D.V.; Talamini, V.; Oliveira, M. S. 2006. Geoestatística como metodología para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a spp. transmitidos por sementes. *Fitopatologia Brasileira*. 31: 557-563.
2. Blomquist, C. L.; Thomas, S. L.; McKemy, J. M.; Nolan, P. A.; Luque-Williams, M. 2007. First report of *Uromyces transversalis*, causal agent of gladiolus rust, in San Diego County, California. *Plant Disease*. 91: 1202.
3. COMEXFLOR (Consejo Mexicano de la Flor). 2011. Disponible en: <http://www.conmexflor.org/mlists.php?mlistid=4> (Fecha de consulta 6 de octubre de 2014).
4. Carvalho, A. M.; Moreira, S. F.; Ampelio, P. E.; Silva, O. M. 2009. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. *Journal Pest Science*. 82: 137-148.
5. Carvalho, A. M.; Ampelio, P. E. 2010. Indicator kriging modeling epidemiology of common bean anthracnose. *Appl Geomat*. 2: 65-72.
6. Fleischer, J.; Blom, E.; Weisz, R. 1999. Sampling in Precision IPM: When The Objective Is a Map. *Phytopathology*. 89: 115-118.
7. Isaaks, E. H.; R. M. Srivastava. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York. 561 p.
8. Johnson, R. M.; Grisham, M. P.; Richard, E. P. Jr. 2007. Relationship between Sugarcane rust severity and soil properties in Louisiana. *Phytopathology*. 97: 748-755.
9. López-Granados, F.; Jurado-Expósito, M.; Atenciano, S.; García-Ferrer, A.; Sánchez, M.; García-Torres, L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant. Soil*. 246: 97-105.
10. Mason, P.; Man-Son-Hing, A.; Rizvi, A. 2007. Gladiolus rust (*Uromyces transversalis*): A national management plan for exclusion and eradication. APHIS-USDA. 34 p.
11. Moreno-López, J. L. 2009. Introducción a la geoestadística y su aplicación. México, D.F. 151 p.
12. NAPPO (North American Plant Protection Organization). 2005. Gladiolus rust (*Uromyces transversalis*). North American Plant Protection Organization. Newsletter.
13. Navas-Cortés, J. A.; Landa, B. B.; Mercado-Blanco, J.; Trapero-Casas, J. L.; Rodríguez-Jurado, D.; Jiménez-Díaz, R. M. 2008. Spatiotemporal analysis of spread of infections by *Verticillium dahliae* pathotypes within a high tree density olive orchard in southern Spain. *Phytopathology*. 98: 167-180.
14. 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.
15. PESA (Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria). 2010. Cultivo de Gladiolo. Unidad Técnica Nacional. Región Altos de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 36 p. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/86159752/CULTIVO-DE-GLADIOLO#scribd> (Fecha de consulta: 30/09/2015).
16. SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural y pesca). 2009. Estudios promercado: ornamental, floricultores y servicios ornamentales El Organal, S.C. de R.L. Querétaro, Qro. Méx. 225 p.
17. Schubert, T.; Leahy, R.; Silagyi, A. 2006. Gladiolus rust (*Uromyces transversalis*) Arrives in the US: Florida and California. Florida Department of Agriculture and Consumer Services. Division of Plant Industry Pest Alert. Available in: <http://www.invasivespeciesinfo.gov/microbes/gladrust.shtml>. (Accessed January 2015).
18. Soberon, J.; Peterson, A. T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1-10.
19. Twizeyimana, M.; Ojiambo, P. S.; Sonder, k.; Ikotun, T.; Hartman, G. L.; Bandyopadhyay, R. 2008. Pathogenic variation of *Phakopsora pachyrhizi* infecting soybean in Nigeria. *Phytopathology*. 99: 353-361.

AGRADECIMIENTO

Al proyecto PROMEP UAEM-PTC-356 (FE38/2013) por los recursos otorgados para la realización de la presente investigación.

Dust storms, drought and desertification in the Southwest of Buenos Aires Province, Argentina

Tormentas de polvo, sequía y desertificación en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina

Elena María Abraham ¹, Juan Carlos Guevara ^{1,2}, Roberto Juan Candia ¹, Nelson Darío Soria ¹

Originales: *Recepción: 23/02/2016 - Aceptación: 13/06/2016*

INDEX

Abstract and keywords	222
Resumen y palabras clave	222-223
Introduction • Some definitions	223
Study area	224
The rainfall cycle	226
Interactions among desertification, drought and dust storms	227
Origin of desertification in swbap	229
The economic, institutional, productive and political processes causing the desertification in the sw bap from the perception of producers	230
Consequences of desertification	232
Recommendations for decision-making	235
Plantations of <i>Opuntia</i> sps.	236
Conclusions	237
References	239

1 Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA), Avda. A. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, M5500 Mendoza, Argentina. abraham@mendoza-conicet.gob.ar

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

ABSTRACT

The study region is one of the most endangered area from wind erosion in the country. This process, coupled with recurrent droughts in last decades and the mishandling of productive practices have generated desertification. This study presents a review of the interaction of these processes based on literature, field survey and perception of producers. Recommendations for rehabilitation are proposed. The area covers 6.5 million hectares, hosting in 2002: 550,000 people and 7,825 farms in irrigated and non-irrigated lands. Irrigated lands are devoted to agricultural production. Non-irrigated have a mixed production system (beef cattle-wheat). Mean annual rainfall in 1940-2014 was 407 mm. In 60% of these years, rainfall was below the mean. Desertification in the area is a consequence of drought and mismanagement. In wet cycles, producers increase stocking rate and wheat-sown area using the same practices of the humid pampa. As a consequence of dry cycles, land is abandonment and fields covered by sand and invasive plants. Over 20 cm of soil has blown away and sand accumulates in fences and stays suspended in the atmosphere, reaching Bahía Blanca city and up to 400 km into the Atlantic Ocean. The area requires deep structural changes in production systems and their management. Emphasis should be on sustainable management, which involves a mentality change of producers and decision makers. Recommendations were made for cleared and non-cleared lands.

Keywords

drought • land mismanagement • soil erosion • desertification • dust storms • area recovery • sustainable management • Argentina

RESUMEN

La región estudiada es una de las áreas más amenazadas por la erosión del viento en el país. Este proceso, junto con las sequías recurrentes en las últimas décadas y el mal manejo de las prácticas productivas han generado desertificación. Este estudio presenta una revisión de la interacción de estos procesos sobre la base de la bibliografía, el relevamiento de campo y la percepción de los productores. Propone recomendaciones para su rehabilitación. El área cubre 6,5 millones de hectáreas, albergando en 2002 a 550.000 personas y 7.825 explotaciones en tierras irrigadas y no irrigadas. Las tierras irrigadas están dedicadas a la producción agrícola. Las tierras no irrigadas poseen un sistema de producción mixto (bovinos de carne- trigo). La lluvia media anual entre los años 1940 y 2014 fue de 407 mm. En el 60% de los años del período indicado fue menor que la media. La desertificación en el área es una consecuencia de la sequía y el mal manejo. En los ciclos húmedos, los productores incrementan la carga animal y el área sembrada con trigo usando las mismas prácticas de la pampa húmeda. Más de 20 cm de suelo se ha perdido debido a la erosión eólica y la arena se acumula en los alambrados y además permanece suspendida en la atmósfera, avanzando sobre la ciudad de Bahía Blanca y hasta 400 km en el Océano Atlántico. El área requiere cambios estructurales profundos en los sistemas de producción y su manejo. El énfasis debería

estar en el manejo sustentable, que involucra un cambio de mentalidad de productores y tomadores de decisiones.

Palabras clave

sequía • mal manejo de la tierra • erosión del suelo • desertificación • tormentas de polvo • recuperación del área • manejo sustentable • Argentina

INTRODUCTION

Arid and semiarid regions comprise about 70% of Argentina's territory. This reality ranks Argentina as the ninth country in the world in terms of percentage of drylands and as one of the 14 countries where these lands occupy over 1 million km². The popular image of Argentina is that of "Humid Pampas". This image is distorted. Reality is that three-quarters of the country are drylands and face desertification. Of the 276 million ha that make up Argentina's continental territory, 60 million ha are affected by different soil degradation and desertification processes, with progress estimated at 650,000 ha year⁻¹.

About 30% of Argentina's total population lives in regions under moderate to severe erosion (1). In this context, Southwest of Buenos Aires Province (SW BAP) becomes a paradigmatic place in South America, where the dust bowls processes that had manifested between the 30's and 50's in Argentina's pampas got magnified in recent years, transforming the area into one comparable to USA's 30's dust bowl, with similar effects upon producers' impoverishment, productive soil loss and damage to infrastructure and urban areas.

This work is based on the hypothesis that desertification in SW BAP depends on the relationship between recurrent droughts and desertification processes, whose most striking manifestation are the dust storms

that affect the region and surrounding territories. Knowing and controlling desertification in places where dust storms originate would help mitigate the intensity and magnitude of dust bowls, which deteriorate habitat at the global scale.

Knowing the dynamics, causes, symptoms and consequences of desertification processes in their places of origin makes it possible to design strategies for recovering and controlling desertification-affected areas. Local recovery measures are the only mechanism able to reduce soil particle emissions and the magnitude and impact of dust bowl phenomena at planetary and local scales.

This study describes the area's current situation related to its generalized drought and desertification, designs actions, and contributes with recommendations for implementing a program for the area's gradual recovery.

SOME DEFINITIONS

Desertification

Means land degradation in arid, semiarid and dry sub-humid areas resulting from various factors, including climatic variations and human activities (43).

Desertification processes involve environmental, economic and social factors and its treatment requires

combined efforts to each of these aspects and their relationships.

Desertification results from degradation of the vegetation cover by overgrazing, overtrampling, clearing, fuelwood collection, repeated burning, and inappropriate agricultural practices. It leads to a general decrease in productivity of the land and in accelerated degradation of the soil erosion, siltation, salinization and alkalization of irrigated lands, or dryland salting. The excessive loss of soil nutrients, and depletion of the soil seed bank, affects the capacity of the vegetation to recover and constitutes the main mechanism of irreversible damage to the environment to which is added the known impact of grazing on pastoral rangelands (40, 41).

Land degradation

Means reduction of the biological or economic productivity and complexity of rain fed cropland, irrigated cropland or range, pasture, forests and woodlands resulting from land use or from a process or combination of processes, including those arising from human activities and habitation patterns, such as soil erosion caused by wind and/or water; deterioration of the physical, chemical and biological or economic properties of soil, and long-term loss of natural vegetation.

Arid, semiarid and dry sub-humid areas

Means areas -other than polar and sub-polar regions- in which the ratio of annual precipitation to potential evapotranspiration falls within the range from 0.05 to 0.65. Hyper-arid areas were excluded from the official United Nations Convention to Combat Desertification and Drought.

The combination of progressive desertification and drought can be severely crippling to the environment, as the stress

created by human overexploitation of the land becomes especially visible during severe drought. Droughts and desertification can amplify each other's impacts.

The meteorological phenomenon known as "*dust storms*" or "*sand storms*" is common in hyperarid, arid and semiarid regions, resulting from a combination of climate, weather and substratum. Indeed, the first element needed for any dust storm -a source of dust- depends largely on climate. Ideal dust sources occur in areas where the composition of the soil is very dry and loosely held on the surface. This commonly occurs in arid and semiarid regions, usually after a prolonged drought.

Moisture keeps soil compact and helps maintain vegetation, which protects it from being swept up into passing winds. Not surprisingly, dust storms frequently occur in the desert. However, marginal dry lands are increasingly a source of major dust storms. These areas have fragile, delicately balanced ecosystems (12).

Aeolian processes, involving erosion, wind transport and sediment deposition, occur in coastal areas, semiarid and arid regions and agricultural fields, and are responsible for emission and/or mobilization of dust and formation of sand dune areas (23).

STUDY AREA

The study area in SW BAP (Southwest Buenos Aires Province) comprises Adolfo Alsina, Coronel Dorrego, Saavedra, Tornquist, Puán, Coronel Rosales, Bahía Blanca, Villarino and Carmen de Patagones districts, and Guaminí, Coronel Suárez and Coronel Pringles divisions (figure 1, page 225). It covers an area of 6.5 million ha where 550,000 people live, *i.e.* 4% of BAP population (37).

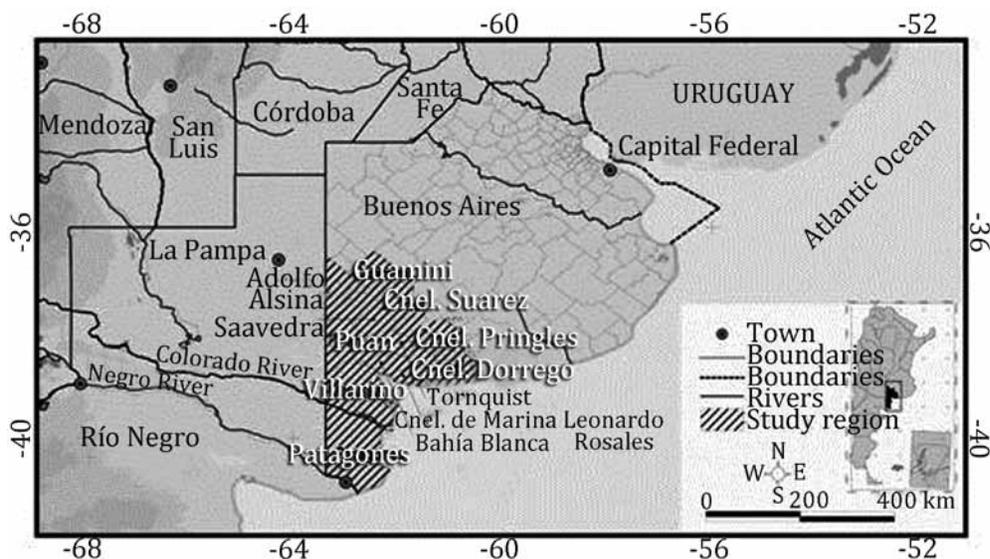


Figure 1. Study region in the Southwest of Buenos Aires Province.

Figura 1. Región de estudio en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

It has own climatic and edaphic characteristics and therefore its possibilities and restrictions for primary productivity are clearly lower than in the rest of the BAP.

Soils are Mollisols. These are steppe or grassland soils, located in temperate climates. This large soil order is divided into suborders based on their evolution degree, climate characteristics and landscape diversity. In the area, according to Sánchez and Pezzola (2007), soils have predominance of aeolian material and presence of a petrocalcic layer of various thicknesses ("tosca") generated by CaCO_3 migration in the soil profile by action of water infiltration.

The area is a transition between ecological systems of semiarid and humid climates, and belongs to the Monte and Espinal phytogeographic provinces. Climate is dry, with mean annual temperature below 18°C , classified

according to Köppen-Geigen as the Bsk type (36). Land supports livestock production systems and irrigated and rainfed agriculture.

The region extends in a sort of Mesopotamian area between two major rivers: Colorado and Negro. The latter, at the "Primera Angostura" gauging station, recorded an annual average flow of $845.8 \text{ m}^3 \text{ second}^{-1}$. There is an old irrigation project that intends to use most of their water currently discharged into the Atlantic Ocean ("Project 0", with several alternatives that would use $300 \text{ m}^3 \text{ second}^{-1}$). This project, in its most ambitious goal would incorporate about 200,000 ha to the irrigation system. Because the project was not implemented, fragmentation of the Patagones district responded with small fields (<200ha) devoted to wheat and livestock production in drylands.

In 2002 there were 7,825 agricultural farms (7) in irrigated and non-irrigated areas. The irrigated zone is devoted to horticultural production (onion, pepper, pumpkin, etc.) for local and export markets, and sunflower, wheat, and corn and sorghum for silage.

The organization regulating the irrigation system is the Development Corporation of the Colorado River (CORFO). Water has a high salt content because of its passage through "Salinas Grandes" (36). Colorado River provides water which is conducted through channels without waterproofing and consequently water loss reaches 15-33%.

Non-irrigated areas have a mixed production system (beef cattle-wheat) because of rainfall variability. Producers surveyed are unaware of studies on groundwater availability, information that specialized agencies would have. Beef cattle (mainly Polled Hereford), representing 15% of the total in BAP, was introduced to the area in the mid 70's because, at the beginning of this decade, sheep were not reared mainly due to low wool and lamb prices. Farms in Bahía Blanca and Coronel Rosales, from 50 to 500 ha represented 62.0% and 54.4%, respectively (26). There is no income diversification and this favors overexploitation and land abandonment.

From cattle health perspective, the area is a buffer zone, *i.e.* it is a Foot and Mouth Disease (FMD)-free zone with vaccination. Farmers wish the area to be a FMD-free zone with no vaccination.

Data was obtained from the authors' direct from field survey, analysis of primary and secondary sources (climate, statistics, censuses, etc), and interviews with representatives of the Rural Associations of Carmen de Patagones, Stroeder and Villalonga, producers and key informants from the study area.

THE RAINFALL CYCLE

Mean annual rainfall recorded in Stroeder (40°11'09" S, 62°37'12" W) over the last 75 years (1940-2014) was 407 mm (figure 2, page 227). In 60% of years, rainfall was below the mean. Since 1992 there have been 12 years with annual rainfall exceeding the mean. During the analyzed period, some values duplicated the annual average (851, 850 and 821 mm in 2001, 2004 and 2014, respectively).

In 2004, wheat yield, according to interviewed producers, was exceptional (3,000 kg ha⁻¹ vs. a mean of 1,000 to 1,200 kg ha⁻¹). From 2005 to 2009, the rainfall cycle was below the average, except in 2006 when it exceeded the mean by 59 mm, but according to Pezzola and Winschel (2004), its distribution was inadequate for winter crops. In 1942, 1949, 1971 and 1982 rainfall was 213, 214, 216 and 215, respectively, the lowest values of the past 75 years. This situation reflects the natural pattern of high rainfall variability in drylands within and between years.

The area has dry summers and rainy autumns, which is the pattern to which the traditional agricultural system was adapted. In wet cycles, producers increase stocking rate and wheat-sown area. In the latter case by using tillage methods (disk plough) inappropriate for the area, because this leaves the soil exposed to wind action. This technique is practiced in the area since field cultivation began 100 years ago, reproducing the same agricultural practices as in the neighboring humid pampas (1,081 mm year⁻¹ in 1951-2000) (9).

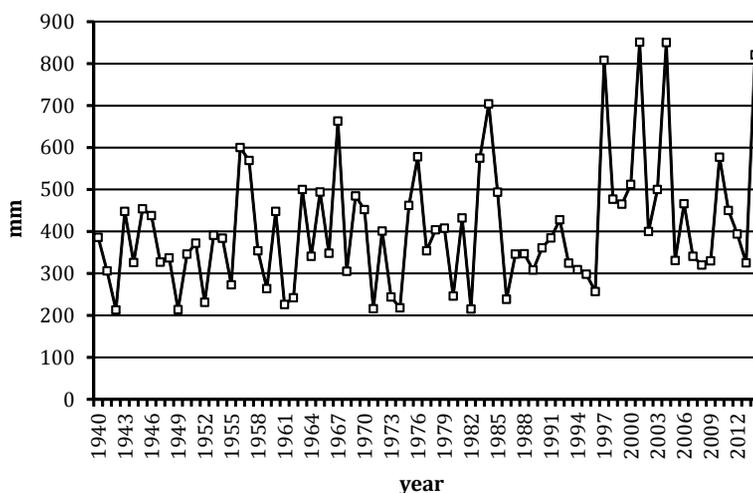


Figure 2. Annual precipitation in Stroeder during the 1940-2014 period.

Figura 2. La precipitación anual en Stroeder durante el período 1940-2014.

INTERACTIONS AMONG DESERTIFICATION, DROUGHT AND DUST STORMS

The SW BAP becomes an important center of particle emission, comparable to other internationally well-known areas like the Sahara, the main terrestrial source of airborne dust, particularly the Bodélé Depression and the drylands of Mauritania, Mali and Algeria in the Sahel (29). The dry environments of China, Arabian Peninsula, Iran, Pakistan and India also contribute greatly to dust storm formation (45, 47).

This is a well described process for many parts of the world. Among other, the Department of Environment and Resource Management (DERM) of the Queensland Government (8), reported that wind erosion is a common cause of land degradation in the arid and semiarid grazing lands of inland Queensland; it is one of the processes leading to desertification; significant wind erosion occurs when

strong wind blows over light-textured soils that have been heavy grazed during periods of drought. Understanding wind erosion is important as it provides a foundation for developing appropriate and effective land management and erosion control processes and to control wind erosion; DERM encourages the adoption of sustainable management practices in the grazing and cropping industries.

Wind erosion may have the following impacts (8):

- a) soil fertility is reduced because of the loss of the plants nutrients that are concentrated on fine soil particles and organic matter in the topsoil. This reduces the soil capacity to support productive pastures and sustain biodiversity;
- b) the erosion at the base of bushes and plants can result in the plant being isolated and ground cover being thinned out;

c) the erosion of light-textured topsoil can expose dense clay subsoils. These smooth and bare areas, called claypans or scalds can cover hundred or even thousands of hectares. They are difficult to revegetate due to the lack of topsoil, low permeability and their often saline nature;

d) the buildup of soil particles against obstacles may bury fences and roads;

e) sand grains transported by strong winds can damage vegetation in their path by sandblasting;

f) air pollution caused by fine particles in suspension can affect people' health and cause other problems.

When winds are strong, large amounts of sand and dust can be lifted from bare, dry soils into the atmosphere and transported downwind affecting regions for hundreds to thousands of kilometers. A dust storm is a meteorological phenomenon that arises when a gust front passes or when wind force exceeds the threshold value where loose sand and dust are removed from the dry ground. In desert areas, dust and sand storms are most commonly caused by either thunderstorm outflows or strong pressure gradients which cause increased wind velocity over a wide area. Drought and wind contribute to emergence of dust storms, as do poor farming and grazing practices by exposing dust and sand to wind. For countries downwind of arid regions, airborne sand and dust present serious risks to environment, farmers and human health (44, 46).

According to Millennium Ecosystem Assessment (30) desertification affects global climate change through soil and vegetation losses. Dryland soils contain over a quarter of all of the organic carbon stores in the world as well as nearly all the inorganic carbon. Unimpeded desertification may release a major fraction of this carbon to the global atmosphere, with

significant feedback consequences to the global climate system. It is estimated that 300 million tons of carbon are lost to the atmosphere from drylands as a result of desertification each year (about 4% of the total global emissions from all sources combined (30).

The effect of global climate change on desertification is complex and not sufficiently understood. Climate change may adversely affect biodiversity and exacerbate desertification due to increase in evapotranspiration and a likely decrease in rainfall in drylands (although it may increase globally).

However, since carbon dioxide is also a major resource for plant productivity, water use efficiency will significantly improve for some dryland species that can favorably respond to its increase. These contrasting responses of different dryland plants to the increasing carbon dioxide and temperatures may lead to changes in species composition and abundances.

Therefore, although climate change may increase aridity and desertification risk in many areas, the consequent effects on services driven by biodiversity loss and, hence, on desertification are difficult to predict.

Due to strongly interlinked issues and policies between desertification, biodiversity loss, and climate change, joint implementation of the UNCCD, the Convention on Biological Diversity, and the Framework Convention on Climate Change can yield multiple benefits. Environmental management approaches for combating desertification, conserving biodiversity, and mitigating climate change are linked in numerous ways.

Typically, these issues were dealt with separately by different conventions and policy fore, which were negotiated and implemented independently of one another,

often by different departments or agencies within national governments. Thus, joint implementation and further strengthening of ongoing collaborations can increase synergies and effectiveness (30).

Southwest of Buenos Aires Province is one of the most endangered areas from wind erosion (5). Potential wind erosion indicates that this area has light, moderate, high, and very high wind erosion classes (2.8%, 42.3%, 40.2% and 14.7%, respectively) (39).

To the west of BAP, more than eight dust storms are reported per year (28, cited by 42). Winter (June to August for the South Hemisphere) is a peak season for South American dust storms (11).

Wind erosion was measured in a smooth field on a site in Bahía Blanca (38°44' S, 62°28' W) with no vegetation cover during April-November 2009 (5). Wind mean speed at 2 m height, for 14 recorded storms, was 32.5 km h⁻¹ and ranged from 25.9 to 40.6 km h⁻¹. In about 70% of cases, prevailing wind direction was NNW. Rainfall reached 143 mm over this period, which represents 21% of the historical average (1991-2000). According to Bouza *et al.* (2012), this situation indicates a strongly negative water balance and an edaphic condition favorable to deflation. Soil loss for the sampled period was 56.8 t ha⁻¹.

Wind erosion risk (WER) was determined in SW of BAP using the wind erosion equation (WEQ) model (39); WER results from multiplying the soil erodibility index ("I") of the soil by the climatic factor (C). Results indicated that WER (Mg ha⁻¹ year⁻¹) ranged from 104.6 in Patagones to 3.0 in Guaminí and Saavedra districts.

The loss of 1 cm of soil in SW BAP produces an average wheat yield reduction of 50 kg ha⁻¹. Of the 3,161,403 ha used for wheat cropping, 20.2% presented a historical loss of about 10 cm of soil. As

a consequence, mean annual reduction in wheat yield was about 320,000 t, equivalent to U\$S 58.5 million (wheat price in December 2016 = U\$S 182.7 t⁻¹). Within this framework, Patagones district stands out with 69% of the 222,620 ha under wheat cropping affected by wind erosion. As a consequence of wind erosion and strong droughts of the last years, this district shows a widespread desertification process (38). There are examples in other areas of the world where there have been decreases in crop yields as a consequence of soil erosion. It has been proposed a procedure for evaluating the effects of wind erosion on soil loss and subsequent crop yields. The procedure uses the wind erosion equation to predict potential annual soil loss, which is converted to the crop yield reduction per inch of erosion for corn, grain sorghum, and wheat. When applied in 13 southwestern Kansas counties, the procedure resulted in estimated annual yield reductions of 339,000 bushels of wheat and 543,000 bushels of grain sorghum on 1.2 million acres of sandy surface soils (27).

A most outstanding example of the relationship between dust storms and desertification is the "Dust bowl" that affected the Great Plains of USA in the 1930's. It was caused by a combination of natural drought and poor farming practices (19).

ORIGIN OF DESERTIFICATION IN SWBAP

Desertification in the area corresponds with the definition proposed by the United Nations International Convention to Combat Desertification and Drought: Desertification is land degradation in arid, semiarid and dry sub-humid areas, responding to two factors:

a) climate variability in drylands, expressed mainly by drought;

b) mismanagement of these ecosystems by human groups, overloading the land, reducing its productivity and forcing people to migrate or fall into poverty (41). This definition contains two aspects to be highlighted in the case of desertification in SW BAP: drought and mismanagement. Then we analyze each of the processes that have led to the area desertification.

Unplanned woody species removal

When woody species were removed, there began conventional tillage cultivation in drought conditions like those present in the area, accompanied by strong winds, resulting in loss of large amounts of soil by deflation and, moreover, loss of the seed bank. According to the study by Pezzola *et al.* (2009), of the total area of Patagones district, about 1,36 million hectares, 28.9% of its soils, have varying degrees of erosion: 3.5% slight to moderate, 16.1% moderate to severe and severe, and 9.3% severe to serious.

Clearing of the area was not only the result of producers' actions but was also encouraged by the State that provided assistance and equipment to agricultural corporations created in the 70's. Also, banking institutions developed credit lines to finance clearing costs. Rational strip clearing was recommended but controls failed. There is a proposed law on land clearing, agreed with all production sectors, which will contribute to managing this process.

Uncontrolled fires

Encroachment and proliferation of aggressive woody plants has become a serious problem in several rangelands of the world, leading to significant reduction in available forage production. This is

attributed to disruption of the natural balance between woody and herbaceous plants and is caused by irrational and selective grazing by livestock and a change in intensity and frequency of natural fires due to human intervention (33).

Arid and semiarid ecosystems are the most affected by fire in Argentina. Most fires are caused by man, either accidentally or intentionally.

The effect of both a non-prescribed summer fire and grazing at high stocking rate following fire contributes to occurrence of bare soil and desertification.

The role of prescribed fire in promoting grass growth at the expense of woody vegetation has been well documented worldwide (15).

Areas affected by fires in Patagones and Villarino during 2002-2004 were identified by Pezzola and Winschel (2004).

The study area covers approximately 2.4 million hectares, of which 839,251 ha correspond to rangelands. Results obtained are summarized in table 1 (page 231).

Areas most affected by fire coincided with those devoted primarily to livestock, mainly located to the west of each district. In many cases, because of its magnitude, fire affected homes, agricultural tools, cattle, alfalfa rolls, fences and beehives. Asset loss was estimated at US\$ 8.5 million, without including economic evaluation of natural resources affected by fire (34).

THE ECONOMIC, INSTITUTIONAL, PRODUCTIVE AND POLITICAL PROCESSES CAUSING THE DESERTIFICATION IN THE SW BAP FROM THE PERCEPTION OF PRODUCERS

The desertification process in the area was the result of macroeconomic and social policies not designed for the particular conditions of the region's fragility.

Table 1. Effect of fires in Villarino and Patagones districts in Southwest of Buenos Aires Province.**Tabla 1.** Efecto de los fuegos en los distritos de Villarino y Patagones en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

District	Number of affected fields	Compromised area (ha)	Burned area (ha)	Number of blazes	Burned wires (km)
Villarino	242	300.136	53.236	120	3.145
Patagones	214	485.961	136.881	99	1.861

This situation is attested by information gathered in interviews with key informants. It is a clear example of how environmental conditions and extraterritorially generated social policies trigger an environmental crisis of magnitude, with enormous costs to be first assumed by local producers, and then affecting areas such as urban settlements in the region and their adjacent areas.

Producers face not only the current climate emergency but decades of impoverishment and decapitalization. Currently, a large percentage of them have left the fields and are dedicated to providing services. In 2008, farmers received subsidies to alleviate the crisis because emergency had been declared in the area four years earlier. However, subsidies did not reach all producers and were not enough.

The Secretariat of Environment and Sustainable Development, dependent on the Ministry of Social Development of Argentina issued the Resolution 250/03 which aims to combat desertification and mitigate the drought effects in order to contribute to the achievement of sustainable development. It has its own monetary resources included in the budget of the National Direction of Environmental Management and Biodiversity Conservation and resources from external donations. In 2012 the projected credit for this Direction was 1.127.175 Argentinean pesos (US\$ 233,370) (40).

The Agricultural Emergency Law N° 26509 of August 2009 created a Commission of Emergency and Disasters and a National System for Disaster Prevention and Agricultural Emergency, with an annual fund of 500 million Argentinean pesos (US\$ 130.5 million).

The region has a Regional Development Plan, with inputs from all stakeholders and the science and technology organizations operating in the region, which includes in-depth studies on various problems affecting the area, but it has partial funding until now. This work was used to support Law 13647/2006-2007 of BAP.

The process of impoverishment of farmers deepened since the mid 70's as a result of Implementation of Circular 1050 by the Argentinean Central Bank in January 1980. This circular instituted a type of loan in which the debts were indexed by the rate of interest prevailing in the market. But as these interests were for years very high in real terms, the growth of debts far exceeded the progress of income and other prices in the economy.

The producers purchased tools but since debts increased with indexation, their value exceeded those of tools. Onset of hyperinflation with the advent of democracy in 1983 initially helped producers to survive because credit lines were granted but most of the fields were mortgaged.

In 1991, Argentina's National Government launched a new economic plan based on free peso-dollar convertibility, with one-to-one parity.

From this plan there ensued a sharp intensification of economic concentration in agriculture which led to relative increase in agricultural production accompanied by growing unemployment, indebtedness of small and medium producers and increasing rural flight (26).

Convertibility in the 90's left producers in debt, with little production capacity. Upon the exit of convertibility, medium and large producers could pay their debts, aided by good crops and high prices.

However, wheat producers lent wheat to farmers, generating additional extra-bank debts. Many producers had to pay those debts and bank loans remained unpaid. Conversion to pesos and reduction of debts by the Argentinean National Bank, which in many cases reached 50%, cleaned up the situation for large and medium producers.

Mortgage bonds issued in the mid-90's (1993-94) tempted producers with their interest rates and terms. At that time, lands were mortgaged and again favored the debt. Since advent of mortgage bonds, medium and small producers (< 500 ha) could no longer get over their losses.

The Stroeder Cooperative building, built in 1973, appears as witness of a golden age. At that time this cooperative promoted fair auctions, a cereal plant, a silo plant, etc. Climatically unfavorable years and the country's situation (hyperinflation, convertibility) produced the same financial debt phenomenon that had affected producers, and in 1994 the cooperative went bankrupt and was absorbed by the cooperative of Carmen de Patagones and Viedma. Producers viewed this as a great failure and a great loss.

CONSEQUENCES OF DESERTIFICATION

As mentioned above, the main consequences of desertification are the soil lost, the abandonment of farms, the impoverishment of the producers and the migration of local population. The following aspects are referred to the number of livestock decrease, the invasion of plant species in the fields and the place where the phenomenon manifests the highest intensity.

Cattle number decrease

In Stroeder, in 2004-05, 90,000 cattle were vaccinated against Foot and Mouth Disease and only 30,000 in 2010. In Patagones, the highest cattle stock was recorded in 2005 with 381.3 thousand heads, and in 2009 there were just 232.8 thousand heads (35). Most of these animals are now in the irrigated area, near the Colorado River. Moreover, rangeland stocking rate was 5 ha cow⁻¹ and currently is 10 ha cow⁻¹.

Field state

It has been an extreme situation where fields were protected from soil blowing only by coverage of invasive plant species such as *Salsola kali* L. that cattle eat when it is in vegetative state.

Other fields were invaded by yellow flower [*Diploaxis tenuifolia* (L.) DC.] and other species. When fresh, yellow flower has bitter taste and unpleasant odor, so cattle do not consume it. However, once cut and dried in the field for 1 to 3 days depending on climate conditions, the substance causing those sensations evaporates or is processed and cattle consume it in large amounts (10).

The desertification process is at its highest intensity at km 928 of National Road N° 3, Spot "La Querencia" (figure 3). In this place, blasting soil reaches a large scale, affecting 15 km of the road. Vehicle transit is commonly cut off because of visibility problems and sand encroachment on the road.

During the visit to the area, the authors of this study were informed that more than 20 cm of soil have blown away, and they verified that sand accumulates in fences, generating dried clumps of *Salsola kali* which are blown from the field and get trapped in fences (figure 4). Also, the sand affected the farm infrastructure such as water tanks (figure 5, page 234).

The remaining fine material stays suspended in the atmosphere and usually reaches Bahía Blanca city, whose airport was closed on more than one occasion, and sometimes up to 400 km into the Atlantic Ocean (figure 6, page 234). The blowing soil reveals in many cases the bare rock or "plow pan", forming the so-called "desert pavement" by embeddedness of gravels and clasts, in addition to typical features of desert-like morphology such as "micro-yardangs" (figure 7, page 234). It is well known that yardangs are formed on rock formations, although similar micro-forms can occur on fine sediments, as seen in the area, characteristically shaped by erosion caused by wind almost always blowing from the same point.

The material is lengthened and takes various shapes over time. Yardangs are formed exclusively in desert areas, in places where wind rapidly lifts large amounts of sand and fine sediments. These landforms are added to the characteristic mounds, dunes and nebkas (figure 8, page 234) (a word of Arabic origin that means a

mound of sand and fine sediment accumulation retained by shrubs) (2).

The latter are desertification indicators and can reach dimensions of up to several meters.



Figure 3. Dust bowl affecting road infrastructure and vehicle transit in "La Querencia".

Figura 3. Tormenta de arena que afecta la infraestructura vial y el tránsito de vehículos en "La Querencia".



Figure 4. Sand accumulation on fences and wind-blown *Salsola kali* trapped in them.

Figura 4. Acumulación de arena en los alambrados y *Salsola kali* transportado por el viento atrapado en ellos.



Figure 5. Water storage tank for livestock affected by soil erosion and sand accumulation in abandoned productive farms.

Figura 5. Tanque de almacenamiento de agua para el ganado afectado por la erosión del suelo y la acumulación de arena en predios productivos abandonados.



Figure 7. Soil erosion testimonial image.

Figura 7. Imagen testimonial de la erosión del suelo.

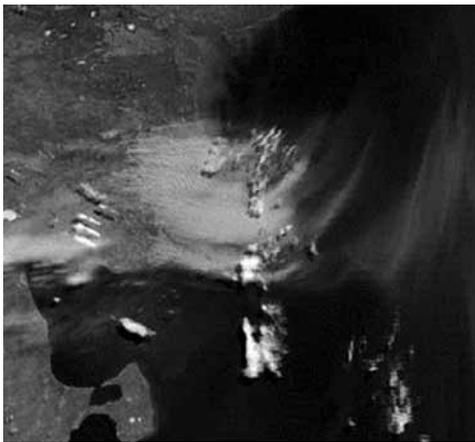


Figure 6. NASA satellite image showing the effects of blasted material transported to the Atlantic Ocean.

Figura 6. Imagen satelital de la NASA que muestra los efectos del material expulsado, transportado al Océano Atlántico.



Figure 8. Nebka and desert pavement in formerly productive farms.

Figura 8. Nebka y el pavimento de desierto en predios anteriormente productivos.

In the field also is possible to find indicators of ancient blasting (sand dunes, mounds), with varying degrees of recovery.

Perception of change by farmers

Producers do not relate the current crisis to overloading or mismanagement of fields. Most of them prefer to think that the crisis is a consequence of climate change. Some of the producers' remarks are as follows. "This drought is extraordinary, comparable only to the events of 1942 and 1961-62 (a situation that can be verified from above shown rainfall data)". "There is no seasonality, we pass directly from winter to summer and vice versa, fall and spring have gone. From dry summers and rainy autumns we have passed to dry autumn (February-March). The wind has increased in intensity, showing a strong diurnal atypical rotation, sometimes blowing from the four quadrants on the same day. Almost no clouds but clear skies most of the year and eddies and hurricanes appear more frequently". The above remarks are perceived primarily by older and more experienced producers.

RECOMMENDATIONS FOR DECISION-MAKING

It is convenient to separate, for making management recommendations, older cleared fields, most of them located east of Route N° 3, from non-cleared fields, predominantly to the west of it.

In cleared fields, with somewhat lower water limitations and fertile soils, the appropriate production system, *i.e.* one that achieves ecologic, economic and social sustainability, would be mixed production (agriculture and livestock).

In non-cleared fields, with higher water limitations and fragile soils,

livestock would be the most advisable production system.

In cleared fields that will be devoted to cultivation, conventional tillage should be replaced by conservation tillage. The slogan should be "zero bare ground". This is supported by the results of trials conducted by Agamennoni and Vanzolini (2012). These authors performed two experiments between 2005 and 2011, one in the EEA INTA Ascasubi and the other one in a private field near Algarrobo town (Villarino district).

At both sites, soil cover at wheat-sowing time was estimated in three treatments defined by tillage type: a) conventional tillage (2 to 3 passes of disk tool), b) vertical tillage (chisel and chemical fallow), and c) direct sowing (chemical fallow only). Table 2 (page 236), shows the results of the treatments.

In conventional tillage, soil cover was very much below the critical limit (1,000 kg ha⁻¹) to prevent wind soil erosion. This type of tillage, coupled with livestock overgrazing, is a very bad combination that explains the serious problems encountered in the study area in recent years. At both sites, cover achieved by direct sowing widely exceeded that limit.

In contrast, vertical tillage cover barely reached the specified limit. Cover achieved by direct sowing, despite the adverse climatic 5-year period covered by the study, suggests that this feature will be one of the most important to keep in mind to control wind erosion in SW BAP.

According to figures on potential wind erosion reported by Silenzi *et al.* (2012) and with the aim to control wind erosion, these authors recommended that 55% of the total area should be used for livestock production, avoiding overgrazing, and that the remaining 45% may be used for agriculture with conservation tillage.

Table 2. Mean values of dry matter of crop residues (stubble and weeds) determined at two study sites at wheat seeding time.

Tabla 2. Valores medios de materia seca de residuos de cultivos (rastrajo y malezas) determinados en dos sitios de estudio al tiempo de la siembra de trigo.

Site	Tillage type	Crop residues (DM, kg ha ⁻¹)
H. Ascasubi	Conventional	218
	Vertical	892
	Direct sowing	1.846
Algarrobo	Conventional	328
	Vertical	1.070
	Direct sowing	1.808

Fields with the first 20 to 30 cm of soil blown deserve special consideration.

Given the re-establishment of a protective vegetation cover is regarded as the most effective strategy against wind erosion and desertification (6), one of the alternatives for restoration would be introducing rustic plant species, tolerant to the conditions of the remaining "soil". Reforestation tasks have begun using *Robinia pseudoacacia* L., *Acacia visco* Lorentz ex Griseb. and *Tamaric* spp., although in very small areas and without technical assistance.

The previous general recommendations are complementary to those related to the following specific areas.

Integration of livestock production

The most appropriate and profitable alternative for beef cattle production was cow-calf production in rangelands, post-weaning in cultivated pastures under irrigation combined with feedlot (13). An also profitable alternative is a production system associating early weaning of beef calves and their post-weaning until reaching 320-kg-liveweight in cultivated pastures under irrigation (18).

Use of appropriate stocking rate

Stocking rate is the most important aspect for successful rangeland management (21). It is the main factor influencing performance of forage plants and economic results of livestock enterprises (20). It should be in accordance with the carrying capacity of a given site. It is important to incorporate the concept of "minimal residual biomass" in planning rangeland management. Under proper stocking rates, in rangelands with perennial herbage, it has been suggested that approximately 25% of the total usable forage produced can be consumed by grazing animals (22)

PLANTATIONS OF *OPUNTIA* SPS.

In arid lands subject to wind erosion, cactus-planted alone as biological barrier or together with physical barrier (*i.e.* cement) is an easy, cheap and efficient way to prevent and to control top-soil loss and facilitates the accumulation of wind-borne deposits. Good results have been obtained in Tunisia where cactus is used

to control wind erosion and to orient sand movement. It fixes the soil and enhances the restoration of vegetative plant cover (31).

Cacti and *Opuntia* sps. in particular can prevent or reverse desertification in different ways: cacti are drought tolerant species, they are used in watershed management and in water harvesting and their efficient use, in wind and water erosion control, in rangeland and marginal land rehabilitation, in cropland management and crop diversification can contribute to alleviating poverty and to reach better livelihood of rural poor in dryland areas (32).

On the other hand, *Opuntia* species have been established as buffer feed reserve, as a strategy for mitigating drought effects on animal production systems of various arid and semiarid zones in the world. In this strategy, this reserve was aimed not only as "drought insurance" for inter-annual drought but also to bridge up a recurrent annual period of feed scarcity (14, 24).

The thermal limit for cultivating frost-sensitive species such as *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. is indicated by a mean daily minimum temperature of the coldest month (m) of 1.5 to 2.0°C (25). For this reason, this species could be cultivated in Carmen de Patagones where m is about 2.5°C (16). Spineless progeny of *Opuntia ficus-indica* 1281 x *O. lindheimerii* 1250 cross that has cold tolerance (17) could be cultivated in areas of SW BAP with m lower than 1.5-2.0°C.

Agriculture

The most important recommendation is to stop using conventional tillage methods and use conservation ones (chisel plow, direct seeding) in agricultural crops and pasture cultivation. Because of the predominant wind direction (NNW),

wind erosion control practices such as deep-furrow seeding, strip cropping and windbreaks must be located as perpendicular as possible to this sector (5).

In the short term, use of conservation tillage with a surface cover of 30% must be promoted, or else systems that leave rough soil such as chisel tillage.

In the long term, besides tillage practices, work must be done on crop rotation to increase soil organic matter levels and improve soil structure. In soils more liable to suffer wind erosion, there must be permanent pastures not requiring soil removal every year, and windbreaks (4). Direct seeding has begun to be practiced in some farms at present.

CONCLUSIONS

Given the data on the area's natural reality, where the only certainty is rainfall variability, emphasis should be on sustainable management, which involves a change of producer's and decision maker's mentality. Both have had the responsibility for the profound landscape shape changes observed.

The area requires deep structural changes in production systems and their management, including the need to immediately protect zones unaffected by desertification and prevent soil blasting, and to continue to protect and recover moderately affected fields.

Soil degradation caused by wind erosion in SW BAP is a very complex problem; therefore it requires solutions conceived with criterion and knowledge. In addition to climatic aspects, there are social, economic, technological and political causes.

Field size, tradition and customs, lack of knowledge and technological

development, research policies, among others, are aspects that have great incidence on soil degradation. At request of producers, an intensive awareness campaign has recently been launched, where society and decision makers, accompanied by organizations like INTA, Universities and CONICET's Research Centers, start designing regulatory tools and implementing sustainable planning and management practices to prevent desertification risk. It is a slow process that prioritizes preventing loss of unaffected fields and working on the recovery of degraded ones.

The problem of fire in the area's ecosystems must also be understood from a holistic approach to rural development. That means the integration of strategies and actions for improving management, land use and natural resources, assuming shared responsibility for fire management and protection against catastrophic fires.

The importance of the desertification process described for SW BAP is manifested by the speed with which it happened and the serious consequences it had on natural and social systems in a short period of time.

Events such as those described can be compared in their causes and consequences to the well-known dust bowl of the United States, where in the 30's, for reasons very similar to those present in the study area, environmental crisis and soil blasting began in a large portion of the fertile prairies of the American West. This event generated an environmental and social catastrophe of national importance, and marked the beginning of the

design and implementation strategies for recovery, prevention and control of land degradation which systematize rapidly in the first land conservation organization: the Soil Conservation Service (SCS) of USA. In 1994, SCS's name was changed to the Natural Resources Conservation Service to better reflect the broadened of the agency's concerns.

In the case of SW BAP, given the gravity of the situation in the area and the mobilization of producers, in recent years also an important answer to these problems is seen by decision makers at provincial and national level. It is relevant to the creation of the Provincial Agency for Sustainable Development (OPDS) of the government of the Buenos Aires province, which together with the Ministry of Environment and Sustainable Development of Argentina and numerous organizations of science and technology as well as civil society organizations are generating actions to recover the area.

With the creation of OPDS is beginning to be perceived a mobilization of resources and sufficient knowledge to mitigate the situation.

As an interesting fact it is worth mentioning that from 2010 to date there have been at least three scientific meetings over the area.

Because this study was conducted at the request of the producers concerned, there is a great potential for the implementation of the recommendations made, which are consistent with those of degraded sites in the country and the world then allow extrapolation to other areas subjected to similar pressures.

REFERENCES

1. Abraham, E. M. 2011. Desertification assessment and monitoring in Argentina, in: Winslow, M.; Sommer, S.; Bigas, H.; Martius, C.; Vogt, J.; Akhtar-Schuster, M.; Thomas, R. (Eds.), Understanding desertification and land degradation trends. Proceedings of the UNCCD First Scientific Conference. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg: 6-11.
2. Abraham, E. M.; Brunotte, E.; Stingl, H. 1987. Geomorphologische Karte 1:100.000 Bajada amarilla, Provinz Mendoza, Argentinien. Berliner Geographisches Abhandlungen. Berlin. 42: 65-76.
3. Agamennoni, R.; Vanzolini, J. I. 2012. Labranzas en el sur de Buenos Aires. Efecto en la cobertura del suelo. Available on line at: <http://inta.gov.ar/documentos/labranzas-en-el-sur-de-buenos-aires-i-efecto-en-la-cobertura-del-suelo> (Accessed: August 2014).
4. Bouza, M. E.; Silenzi, J. C.; Echeverría, N. E.; De Lucía, M. P. 2011. Monitoring station of wind erosion in southwest of Buenos Aires province, in: Winslow, M.; Sommer, S.; Bigas, H.; Martius, C.; Vogt, J.; Akhtar-Schuster, M.; Thomas, R. (Eds.). Understanding desertification and land degradation trends. Proceedings of the UNCCD First Scientific Conference. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg. 136-137.
5. Bouza, M. E.; Silenzi, J. C.; Echeverría, N. E.; De Lucía, M. P. 2012. Analysis of erosive events for a soil in the southwest of Buenos Aires Province, Argentina. *Aeolian Research*. 3: 427-435.
6. Burri, K.; Gromke, C.; Graf, F. 2013. Micorrhizal fungi protect the soil from wind erosion: a wind tunnel study. *Land Degradation and Development*. 24: 385-392.
7. Censo Nacional Agropecuario 2002. Ministerio de Economía. Subsecretaría de Coordinación Económica Provincia de Buenos Aires. Available on line at: www.indec.mecon.gov.ar/agropecuario/cna_2index.asp?mode=06 (accessed: September 2014).
8. Department of Environment and Resource Management. Queensland Government. 2011. Wind erosion. Available on line at: www.qld.gov.au/dsiti/assets/soil/wind-erosion.pdf (accessed: December 2015).
9. Deschamps, J. R.; Otero, O.; Tonni, E. P. 2003. Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX. Universidad de Belgrano, Documento de Trabajo N° 109. 20 p. Available on line at: http://www.ub.edu.ar/investigaciones/dt_nuevos/109_deschamps.pdf (accessed: July 2014).
10. Fernández Mayer, A. 2009. Flor amarilla: de la maleza al forraje. *INTA Newsletter* N° 565.
11. Gaiero, D. M.; Simonella, L.; Gassó, S.; Gili, S.; Stein, A. F.; Sosa, P.; Becchio, R.; Arce, J.; Marelli, H. 2013. Ground/satellite observations and atmospheric modelling of dust storms originating in the high Puna-Altiplano desert (South America): Implications for the interpretation of paleo-climate archives. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118: 3817-3831.
12. Giuggio, V. M. 2012. How dust storms work. Available on line at: <http://science.howstuffworks.com/nature/climate-weather/storms/dust-storm1.htm> (accessed: December 2015).
13. Grünwaldt, E. G.; Guevara, J. C. 2012. Rentabilidad de la actividad conjunta de recría y engorde a corral de bovinos para carne en la provincia de Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 44(2): 145-155.
14. 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(2): 145-170.
15. Guevara, J. C.; Stasi, C. R.; Wuilloud, C. F.; Estevez, O. R. 1999. Effects of fire on rangeland vegetation in south-western Mendoza plains, Argentina: composition, frequency, biomass productivity and carrying capacity. *Journal of Arid Environments*. 41: 27-35.
16. Guevara, J. C.; Estevez, O. R. 2001. *Opuntia* spp. for fodder and forage production in Argentina: experiences and prospects, in: Mondragón-Jacobo, C.; Pérez-González, S. (Eds.), *Cactus (Opuntia spp.) as forage*. FAO, Rome. 63-71.

17. Guevara, J. C.; Felker, P.; Balzarini, M. G.; Paez, S. A.; Estevez, O. R.; Paez, M. N.; Antúnez, J. C. 2011. Productivity, cold hardiness and forage quality of spineless progeny of the *Opuntia ficus-indica* 1281 x *O. lindheimerii* 1250 cross in Mendoza plain, Argentina. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 13: 48-62.
18. Guevara, J. C.; Grünwaldt, E. G. 2012. The desert environment of Mendoza, Argentina: status and prospects for sustainable beef cattle production, in Guevara, J. C.; Grünwaldt, E. G.; Sivaperuman, C. (Eds.), *Deserts: Flora, Fauna and Environment*. Nova Science Publishers Inc.: New York. N. Y. 115-127.
19. Hansen, Z. K.; Libecap, G. D. 2004. Small farms, externalities and the Dust Bowl of the 1930s. *Journal of Political Economy*. 112: 665-694.
20. Heitschmidt, R. K.; Conner, J. R.; Canon, S. K.; Pinchak, W. E.; Walker, J. W.; Dowhower, S. L. 1990. Cow/calf production and economic returns from yearlong continuous, deferred rotation and rotational grazing treatments. *Journal of Production Agriculture*. 3: 92-99.
21. Holechek, J. L.; Pieper, R. D. 1992. Estimation of stocking rate on New Mexico rangelands. *Journal of Soil and Water Conservation*. 47: 116-119.
22. Kothmann, M. M. 1992. Nutrition for livestock grazing rangelands and pasturelands, in: Howard, J. L. (Ed.), *Current Veterinary Therapy 3: Food Animal Practice*, W. B. Saunders Co., Philadelphia. 285-293.
23. Lancaster, N.; Gillies, J. A.; Nickling, W. G. 2006. Recent progress in Aeolian research. *EOS, Transactions American Geophysical Union*. 87(45): 496.
24. Le Houérou, H. N. 1991. Feeding shrubs to sheep in the Mediterranean arid zone: intake, performance and feed value in: Gaston, A.; Kernick, M.; Le Houérou, H. N. (Eds.), *Proceedings of the Fourth International Rangeland Congress, CIRAD (SCIST): Montpellier, France*. 639-644.
25. Le Houérou, H. N. 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes du Nord de l'Afrique. *Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options Méditerranéennes, Série B, N° 10. CIHEAM: Montpellier, France*. 396 p.
26. Luque, N.; Alamo, M. 2011. Procesos socio-espaciales en el sudoeste bonaerense y su incidencia en el espacio rural. Los casos de Bahía Blanca y Coronel de Marina Leonardo Rosales a fines del siglo XX. Available on line at: <http://es.scribd.com/doc/53167125/Procesos-Socio-Espaciales-en-el-Sudoeste-Bonaerense-Alamo-Luque> (accessed: September 2014).
27. Lyles, L. 1975. Possible effects of wind erosion of soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation*. 30: 279-283.
28. Middleton, N. J. 1986. The geography of dust storms. Unpublished D Phil Thesis. University of Oxford.
29. Middleton, N. J.; Goudie, A. S. 2001. Saharan dust: sources and trajectories. *Transactions of the Institute of British Geographers*. 26: 165-181.
30. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. Work Resources Institute, Washington, D. C. 26 p.
31. Nefzaoui, A.; Ben Salem, H. 2002. Forage, fodder, and animal nutrition. Chapter 12, in: Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti, biology and uses*. University of California Press. 280 p.
32. Nefzaoui, A.; El Mourid, M. 2009. Cacti: A Key-Stone for the Development of Marginal Lands and to Combat Desertification. *Acta Horticulturae*. 811: 365-372.
33. Papanastasis, V. 1991. Control and utilization of woody rangelands, in: Gaston, A.; Kernick, M.; Le Houérou, H. N. (Eds.), *Proceedings of the Fourth International Rangeland Congress, CIRAD (SCIST): Montpellier, France*. 1168-1172.
34. Pezzola, A.; Winschel, C. 2004. Estudio espacio-temporal de incendios rurales utilizando percepción remota y SIG. EEA H. Ascasubi INTA, Laboratorio de Teledetección. *Boletín Técnico N° 20*. 12 p.
35. Pezzola, A.; Agamennoni, R.; Winschel, C.; Sánchez, R.; Enrique, M.; Giorgetti, H. 2009. Estimación expeditiva de suelos erosionados del partido de Patagones- Prov. de Buenos Aires. Available on line at: [INTA_erosion_patagones\[1\].pdf](INTA_erosion_patagones[1].pdf) (accessed: November 2014).
36. Sánchez, R. M.; Pezzola, A. 2007. Plan de desarrollo del sudoeste bonaerense. El agua superficial en la región semiárida bonaerense. Informe preliminar. 13 p.

37. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). 2011. Análisis y evaluación social. Proyecto "Incremento de la resiliencia climática y mejora de la gestión sustentable del suelo del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires". 124 p.
38. Silenzi, J. C.; Echeverría, N. E.; Bouza, M. E.; De Lucía, M. P. 2011. The cost of wind erosion in the southwest of Buenos Aires province, in: Winslow, M.; Sommer, S.; Bigas, H.; Martius, C.; Vogt, J.; Akhtar-Schuster, M.; Thomas, R. (Eds.), *Understanding Desertification and Land Degradation Trends. Proceedings of the UNCCD First Scientific Conference. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg*: 138-139.
39. Silenzi, J. C.; Echeverría, N. E.; Vallejos, A. G.; Bouza, M. E.; DeLucía, M. P. 2012. Wind erosion risks in the southwest of Buenos Aires Province, Argentina, and its relationship to the productivity index. *Aeolian Research*. 3: 419-425.
40. Squires, V. R. 2010. Desert transformation or desertification control? *Journal of Rangeland Science*. 1: 17-21.
41. Squires, V.; Sidahmed, A. E. (Eds.). 1998. *Drylands: Sustainable use of rangelands into the twenty-first century. IFAD Series: Technical Reports. Rome: IFAD*. 407 p.
42. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 2015. 223 p. Available on line at: www.ambiente.gov.ar/archivos/web/ProyTerceraCNCC/file/InformeFinal_20150701_1244.pdf (accessed: December 2015).
43. United Nations Convention to Combat Desertification and Drought (UNCCD) - PNUMA. 1995. *Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Texto con Anexos, Documento Oficial de la UNCCD, Suiza*.
44. Wang, T. 2000. Land use and sandy desertification in the North China. *Journal of Desert Research*. 20: 103-107.
45. Wang, J. X. L. 2015. Mapping of global dust storm records: review of dust data sources in supporting modelling/climate study. *Current Pollution Reports*. 1: 82-94.
46. WMO Secretariat. 2009. WMO Sand and dust storms. Warning advisory and assessment system (SDS- WAS): Implementation plan 2009-2013. 20 p. Available online at: http://www.preventionweb.net/files/11309_SDSWASdraftimplementationplan1.pdf (accessed: September 2014).
47. Zhang, X. Y.; Gong, S. L.; Zhao, T. L.; Arimoto, R.; Wang, Y. Q.; Zhou Z. J. 2003. Sources of Asian dust and role of climate change versus desertification in Asia dust emission. *Geophysical Research Letters*. 30: 2272. ASC 8-4.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their gratitude to representatives of Rural Associations of Stroeder, Carmen de Patagones and Villalonga for inviting to visit the area, especially to Veterinarian Surgeon Juan Carlos Maas. To producers and key informants for valuable information provided. To Agricultural Engineers Josefina Marinissen and Hugo Georgetti who participated in all activities carried out in the area and to Nélica Horak who collaborated in the English version.

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 inéditos, escritos en español o en inglés, cuya temática esté relacionada con la ingeniería agronómica, la bromatología 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.

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.

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.

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.

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 (consultar página Web: <http://revista.fca.uncu.edu.ar>).

Deberá enviarse una copia impresa en tamaño A4, a doble espacio, escrita en una sola carilla con tipografía Cambria 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.

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 entregará 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, éstas 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: Solo 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 en página Web: <http://revista.fca.uncu.edu.ar>):

- 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. 3^{ra} 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.