

WOS - Scopus



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

Tomo 50
Nº 1 Año 2018
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)

Editora asistente en Lengua Inglesa

M. Sc. Inés Pilar Hugalde (INTA, 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, INTA, 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)

Dra. María Dolores Lettelier (UNCUYO, 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 Lépiz

Diseño y autoedición

Dis. Gráfica Cintia Eliana Costa • Dis. Gráfica Brenda Rodríguez • Hugo Leonardo Fontes



Centro de Ediciones Académicas

Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo

Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo

Ref. N°

BIBLIOTECA

biblio@fca.uncu.edu.ar

Hemos recibido por Received by Nous avons reçu par	CANJE EXCHANGE <input type="checkbox"/> ECHANGE	DONACIÓN GIFT <input type="checkbox"/> DONATION	SUSCRIPCIÓN SUBSCRIPTION <input type="checkbox"/> SUBSCRIPTION
REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Vol.: 50 N°: 1 Año: 2018			
Nos está faltando Missing issues Il nous manque			
Enviamos a ustedes Sending 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



REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PARA SUSCRIBIRSE, COMPLETAR ESTE FORMULARIO

TO SUBSCRIBE, COMPLETE THIS FORM

POUR FAIRE LA SUBSCRIPTION, COMPLÉTER CE FORMULAIRE

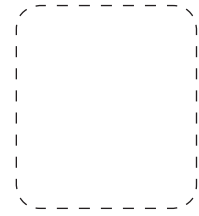
SUSCRIPCIÓN - SUBSCRIPTION - SUBSCRIPTION

Valor de la suscripción Subscription price Valeur de la subscription	Un año (dos números) One year (two issues) Un année (deux numéros)	US\$	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 the order of 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

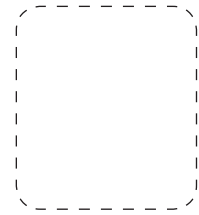


Tarjeta Postal
Post Card
Carte Postale



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



FACULTAD DE
CIENCIAS
AGRARIAS

CENTRO COORDINADOR DE
EDICIONES
ACADÉMICAS

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:

- Wos (Web of Science)
- Scopus & Embase
- SciELO Argentina
- Núcleo Básico de Revistas Científicas Argentinas
- REDALyC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe)
- DOAJ (Directory of Open Access Journals)
- 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)
- Agri2000 de SIDALC
- Science Citation Index Expanded
- Journal Citation Reports/Science Edition
- Biological Abstracts
- BIOSIS Previews
- CABELLS

Evaluadores 2018

Pablo Abbate - *INTA*

Pablo Aceñolaza - *UNEntre Ríos*

Cintia Acuña - *INTA*

Germán Aguado - *INTA*

Juan Agustín Álvarez - *CONICET*

Felipe Andrezza - *UFederal de Viçosa MG, Brasil*

María Elena Aradas - *INTA*

Pablo Asprelli - *INTA*

Lucrecia Avilés - *UNComahue*

Ernesto Barrera - *UBA*

Mario A. Barrientos - *UNCórdoba*

Germán Berone - *INTA*

Mauricio Buccheri - *INA*

Claudio Budde - *INTA*

Guillermo Cabrera Walsh - *FUEDEI*

Gabriel Céccoli - *CONICET*

María Fernanda Cingolani - *UNLa Plata*

Susana Coper - *UACH*

Patricia Cornaglia - *UBA*

José Enrique CosTerrer - *IMIDA-España*

Fernanda Covacevich - *INTA*

Carlos Coviella - *UNLuján*

Verónica Farreras - *CONICET*

Gabriela Fasciglione - *UNMar del Plata*

Guillermo Ferrer - *UNCórdoba*

Paula Ferrere - *INTA*

María Eugenia Ferrero - *CONICET*

Gustavo Ferro - *UCEMA*

Diana Frezza - *UBA*

Cristian Geldes - *UAlberto Hurtado-Chile*

Alberto Martín Gochez - *INTA*

Carina V. González - *CONICET*

Mirían del Pilar Gonzalez - *UNRosario*

Silvina Greco - *UNCuyo*

Eduardo Grünwaldt - *CONICET*

María Cándida Iglesias - *UNNE*

Adriana Kantolic - *UBA*

Armando Llop - *INA*

Gabriel Lorenzo - *UBA*

Gabriela Lucero - *UNCuyo*

Marcos G. Maiocchi - *UNNE*

Liliana Marbán - *UBA*

Carlos Marfil - *UNCuyo*

Laura Martínez - *INTA*

Edel Matteoda - *UNRío Cuarto*

María Cristina Mondino - *INTA*

Marcos Mora González - *UChile*

Gabriela Moreno - *CONICET*

Ignacio Mundo - *IANIGLA*

Yisa Ochoa - *UAAAN*

Alfredo Ohanian - *UNRío Cuarto*

Mariano Ordano - *FMLlillo-Tucumán*

Alejandro Pannunzio - *UBA*

Carlos Parera - *INTA*

Carlos B. Passera - *UNCuyo*

Hilda Pedranzani - *UNSan Luis*

Patricia Perelmann - *CONICET*

Martín Pérez - *INTA*

Mauricio Ponce Donoso - *UTalca*

José Portela - *INTA*

Fernando Ramos Gourcy - *UAA-México*

Silvia Ratto - *UBA*

Cecilia Reborá - *UNCuyo*

Carmen Reguilón - *FMLlillo-Tucumán*

Diego Rodil - *INTA*

Adriana Rodríguez - *UBA*

María Eugenia Rodríguez - *UNCuyo*

Julieta Rojas - *INTA*

Catalina Romay - *UBA*

Héctor Gustavo Rosatto - *UBA*

Ricardo Sager - *INTA*

Yolanda Salinas Moreno - *INIFAP-México*

Adriana Saluso - *INTA*

Adriana Salvo - *CONICET*

Gerardo Sanchez - *INTA*

Rosa María Sánchez Nájera - *UAM*

Diego Santos - *INTA*

Carmen Sartor - *UNCuyo*

Gustavo Sbarra - *UBA*

Sergio Segura Calero - *USevilla-España*

Felicitas Silveti - *UNCórdoba*

Ester Simonetti - *UBA*

Ana Srur - *CONICET*

Catherine Tauber - *Cornell University, Ithaca, NY*

Oscar Terenti - *INTA*

Gonzalo Torres-Tejerizo - *UNLP*

Ana Eugenia Thea - *UNMisiones*

Claudia Travaglia - *UNRío Cuarto*

Martín Uliarte - *INTA*

Jorge Valdéz - *INTA*

Gabriel Valentini - *INTA*

Leonardo Vanzetti - *INTA*

Lorena Vivanco - *UCuenca-Ecuador*

Antonio Weibel - *INTA*

Alejandra Yommi - *INTA*

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo

TOMO 50(1) - JUNIO 2018

ÍNDICE

GENÉTICA Y MEJORAMIENTO VEGETAL

Development and characterization of SSR markers for *Trichloris crinita* using sequence data from related grass species

*Desarrollo y caracterización de marcadores moleculares SSR para *Trichloris crinita* usando secuencias de gramíneas filogenéticamente cercanas*

P. Carolina Kozub, K. Barboza, J. B. Cavagnaro, P. F. Cavagnaro. 1

ECOFISIOLOGÍA Y MANEJO DE CULTIVOS

Assessment of soil properties, plant yield and composition, after different type and applications mode of organic amendment in a vineyard of Mendoza, Argentina

Evaluación de propiedades edáficas químicas, biológicas, rendimiento y composición vegetal en un viñedo de Mendoza (Argentina) con diferentes tipos y modos de aplicación de abono orgánico

L. E. Martínez, R. C. Vallone, P. N. Piccoli, S. E. Ratto. 17

Influencia de la vid (*Vitis vinifera* L.) sobre cultivos de cobertura: un modelo biomatemático de la transición de amensalismo a comensalismo

*Influence of grapevine (*Vitis vinifera* L.) on cover crops: a biomathematical model of the transition of amensalism to comensalism*

C. R. Bageta, M. Alberto, C. Sartor, A. Ceconato, A. Bevaqua, M. Tirador, M. Garriga, V. Nodaro, A. Quiroga, E. Uliarte (*ex aequo*). 33

Evaluación de crecimiento, rendimiento y calorimetría de biomasa de *Miscanthus x giganteus* (*Poaceae*) establecido en el centro-sur de Chile

*Evaluation of growth, yield and calorific value of *Miscanthus x giganteus* (*Poaceae*) biomass established in south central of Chile*

F. Muñoz, J. Cancino, R. Rodríguez, R. Olave. 47

Efecto del momento de cosecha sobre la calidad hortícola de tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) conservados a campo y en cámara frigorífica

*Harvest time effect on horticultural quality of topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) kept in the soil or in cold storage*

L. Ibarguren, C. Reborá, M. Alberto. 61

Physiological and production responses of olive (*Olea europaea* L.) cv. Frantoio under regulated deficit irrigation on a semiarid mediterranean weather condition (Cholqui, Maipo Valley, Chile)

*Respuestas fisiológicas y productivas en olivo (*Olea europaea* L.) cv. Frantoio bajo riego deficitario controlado en condiciones de un clima mediterráneo semiárido (Cholqui, Valle del Maipo, Chile)*

C. Kremer, L. Reyes, T. Fichet, V. García de Cortázar, J. Haberland. 73

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Traffic of harvester combines: effect on maize yields (*Zea Mays* L.) and soil compaction under direct sowing system

*Tráfico de cosechadoras: efecto sobre los rendimientos de maíz (*Zea Mays* L.) y compactación del suelo bajo el sistema de siembra directa*

G. F. Botta, A. Tolón-Becerra, F. Bienvenido, E. R. D. Rivero, D. A. Laureda, E. E. Contessotto, R. A. Fonterosa, D. W. Agnes. 85

Análisis de la eficiencia física, económica y social del agua en espárrago (*Asparagus officinalis* L.) y uva (*Vitis vinifera*) de mesa del DR-037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, Mexico 2014

*Analysis of physical, economic and social water efficiency in asparagus (*Asparagus officinalis* L.) and grape (*Vitis vinifera*) fruit from DR-037 of Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, Mexico 2014*

J. L. Ríos Flores, B. E. Rios Arredondo, J. E. Cantú Brito, H. E. Rios Arredondo, S. Armendáriz Erives, J. A. Chávez Rivero, C. Navarrete Molina, R. Castro Franco. 101

Capacity of two vegetative species of heavy metal accumulation

Capacidad de dos especies vegetativas en la acumulación de metales pesados

J. Alcalá Jáuregui, J. C. Rodríguez Ortíz, A. Hernández Montoya, M. F. Filippini, E. Martínez Carretero, P. E. Diaz Flores. 123

ECONOMÍA Y POLÍTICA AGRARIA

Development programs for female farmers: identifying clusters for the case of Chile's "Education and training program for rural women"

Programas de desarrollo dirigidos a agricultoras: identificando clústeres para el caso del programa "Formación y capacitación para mujeres campesinas" de Chile

S. Boza, T. Muñoz, M. Cortés, M. Rico, J. Muñoz. 141

A comparison between tourists' profiles in two Italian wine routes

Una comparación entre los perfiles de los turistas de dos rutas del vino italiano

L. Galletto. 157

Conocimiento científico y políticas de conservación: interrelaciones en las razas ganaderas autóctonas españolas en peligro de extinción

Scientific knowledge and conservation policies: interrelationships in the Spanish livestock autochthonous endangered breeds

J. Perea, C. Barba, M. Luque, A. González, E. Angón, A. García. 171

The falling production of mexican cacao analyzed through the lens of Mincerian earnings function in the context of social capital of smallholders

La caída de la producción del cacao mexicano analizada a través de la función Minceriana en el contexto del capital social de pequeños productores

T. Hes, S. Mintah, H. Sulaiman, J. S. Banda Arrieta, J. Ramírez Esquivel, T. Martínez Saldaña, J. M. Aguirre López. 185

Influencia de factores contextuales en la adopción de modelos de agricultura insustentables. La incorporación del invernáculo en agricultores platenses <i>Influence of contextual factors in the adoption of models of unsustainable agriculture. The adoption of the greenhouse in farmers in the horticultural belt of La Plata</i>	
M. L. Blandi, R. M. Rigotto, S. J. Sarandón.	203

PRODUCCIÓN Y SANIDAD ANIMAL

Change of collembolan (Hexapoda: Collembola) community structure related to anthropic soil disturbance <i>Cambio de la estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en relación con el disturbio antrópico de los suelos</i>	
R. V. Sandler, L. B. Falco, C. A. Di Ciocco, R. Castro Huerta, C. E. Coviella.	217

TECNOLOGÍAS AGROINDUSTRIALES

Análisis de datos sensoriales de tomate triturado con lógica difusa y técnicas multivariadas <i>Sensory data analysis crushed tomatoes with fuzzy logic and multivariate techniques</i>	
M. I. Césari, N. B. Ventreña, A. Gámbaro.	233

Production of cured, voided meat sausage with apple pomade added (<i>Malus domestica</i>) and its impact in nutritional and sensorial values <i>Elaboración de embutido cárnico curado sellado al vacío con pomasa de manzana (<i>Malus domestica</i>) y su valoración nutricional y sensorial</i>	
N. Loyola, C. Acuña, D. Fuentes, M. Arriola.	249

Analysis of some physical, chemical and microbiological aspects of honey samples produced and consumed in Turkey <i>Análisis de algunos aspectos físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de miel producidas y consumidas en Turquía</i>	
S. Bakirdere, T. Yaroglu, N. Tirik, M. Demiroz, A. Karaca.	263

PERSPECTIVAS

Proposal for severe injury reduction targets in Spain by territory and sector. The importance for rural areas of traffic accident <i>Propuesta de objetivos territoriales y sectoriales de reducción de heridos graves. Importancia de los accidentes de tráfico en áreas rurales</i>	
M. D. Ramírez Román, X. Bolívar Lastra-Bravo, A. Tolón-Becerra, F. Bienvenido-Bárcena, I. Flores-Parra.	273

REVISIÓN

Sustainable use of rangelands of the Mendoza plain (Argentina) <i>Uso sustentable de los pastizales de la llanura de Mendoza (Argentina)</i>	
J. C. Guevara, O. R. Estevez.	295

Normas para la presentación de artículos. p.309

Development and characterization of SSR markers for *Trichloris crinita* using sequence data from related grass species

Desarrollo y caracterización de marcadores moleculares SSR para *Trichloris crinita* usando secuencias de gramíneas filogenéticamente cercanas

Perla Carolina Kozub¹, Karina Barboza², Juan Bruno Cavagnaro¹, Pablo Federico Cavagnaro^{2,3}

Originales: *Recepción*: 04/12/2017 - *Aceptación*: 07/05/2018

ABSTRACT

Trichloris crinita is among the most important native forage grasses in arid regions of America. Despite its importance, molecular resources and sequence data are extremely scarce in this species. In the present study, SSR markers were developed using available DNA sequences from grass taxa phylogenetically-related to *Trichloris* (*Eleusine coracana*, *Cynodon dactylon* and '*Cynodon dactylon* x *Cynodon transvaalensis*'). Marker transferability was evaluated in a panel of eight *T. crinita* accessions and five closely-related species. Of the 105 SSR primer pairs evaluated, 16 amplified products of expected size in *T. crinita*, whereas transferability to other grass species ranged from 12 (in *Chloris castilloniana*) to 28 SSRs (in *Eleusine coracana*). Six of the 16 SSR markers successfully transferred to *T. crinita* (37.5%) were polymorphic, and were further used to assess genetic diversity in eight *T. crinita* accessions. The analysis revealed a total of 23 SSR alleles (3.83 alleles/locus), allowing the discrimination of all *T. crinita* accessions, with pair-wise genetic similarities ranging from 0.35 to 0.81 (Jaccard coefficient). Mean (and range) values for observed (*Ho*) and expected heterozygosity (*He*) were 0.53 (0.0-1.0) and 0.63 (0.48-0.79), respectively.

Keywords

Chloridoideae • forage grass • genetic diversity • marker transferability • microsatellites

-
- 1 Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo). Facultad de Ciencias Agrarias (FCA). Instituto de Biología Agrícola de Mendoza (IBAM). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Almirante Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza M5528AHB. Argentina.
 - 2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) E.E.A. La Consulta. Ex ruta 40 Km 96. San Carlos. Mendoza 5567. Argentina. pcavagnaro@fca.uncu.edu.ar
 - 3 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Instituto de Horticultura.

RESUMEN

Trichloris crinita es una importante gramínea forrajera, nativa de regiones áridas del continente americano. A pesar de su importancia, no existen herramientas moleculares ni secuencias nucleotídicas disponibles para esta especie. En este estudio, se desarrollaron marcadores moleculares SSR ("simple sequence repeats") a partir de secuencias nucleotídicas de especies filogenéticamente cercanas a *Trichloris* (*Eleusine coracana*, *Cynodon dactylon* y '*Cynodon dactylon* x *Cynodon transvaalensis*') y se evaluó su transferibilidad en ocho accesiones de *T. crinita* y cinco especies de gramíneas cercanamente emparentadas. De los 105 pares de cebadores evaluados, 16 amplificaron productos del tamaño esperado en *T. crinita*, mientras que la transferibilidad a otras especies varió entre 12 (en *Chloris castilloniana*) y 28 SSRs (en *Eleusine coracana*). De los 16 SSRs transferibles a *T. crinita*, seis fueron polimórficos y se utilizaron para analizar el grado de diversidad genética en ocho accesiones de esta especie. El análisis reveló 23 alelos, los cuales permitieron diferenciar todas las accesiones de *T. crinita*, con valores de similitud genética entre pares de accesiones de 0,35 a 0,81 (Jaccard). Se obtuvieron valores medios de heterocigosidad observada y esperada de 0,53 y 0,63 respectivamente.

Palabras clave

Chloridoideae • gramínea forrajera • diversidad genética • transferibilidad • microsatélites

INTRODUCTION

Trichloris crinita (Chloridoideae, Poaceae) is one of the most important native grass species in arid regions of South America, due to its extensive area of distribution (25), good forage quality (7, 27), and resistance to drought (13), trampling and grazing by wild and domestic animals (4). These characteristics and its competing aggressiveness among other native grasses (22), have led to a widespread utilization of *T. crinita* in range grazing and revegetation projects in arid environments (24).

Despite its importance, advances in genetic research and breeding of *T. crinita* have been limited, mainly due to the scarcity of molecular resources and the fact that the species mode of reproduction was unknown until very recently. The main approach used to improve *T. crinita* has been the selection of interesting

phenotypes from natural populations, followed by their characterization based on traits of interest, such as biomass production (5), forage quality (7, 27), and drought resistance (12). Data from a recent study (16), demonstrating that *T. crinita* is a sexually-propagated autogamous species, encourages the practice of conventional breeding strategies in the species. Along with this, the possibility of developing molecular markers for assisting selection may accelerate *T. crinita* breeding goals.

Molecular resources in *T. crinita* are very scarce. To date, only two studies regarding the use of molecular markers in this species have been published (5, 16). The first study, published in 2006, used AFLP markers for characterizing genetic diversity in a *T. crinita* germplasm collection (4), whereas a more recent study by Kozub *et al.* (2017) used simple

sequence repeats (SSR) markers for inferring about the mode of reproduction of this species. The present work reports on the development and evaluation, at various levels, of the SSR markers used in the latter report.

SSRs are robust and informative PCR-based markers and they are generally favored over AFLPs due to their higher level of polymorphism, reproducibility and codominant inheritance (18). These markers have been successfully used for multiple genetic and breeding purposes in many crop species, including grapevine (19), carrot (6), alfalfa (12) and soybean (3). However, the development of SSR markers generally requires DNA sequence data to search and detect SSR motifs, and design primers flanking the SSR. In the case of *T. crinita*, using sequence databases to identify SSRs is not feasible since very few sequences are available for the species (only 34 *T. crinita* sequences are available at the NCBI database).

The use of sequence data from related taxa for developing SSR markers in a species lacking sequence information has been widely used in plants, with variable degrees of success, generally increasing success rate with the phylogenetic proximity between SSR donor and target species (15). This approach has been particularly successful in the Poaceae family, where SSR markers were developed for numerous orphan species, using sequences from economically important cereal crops (34, 35). This strategy may also be effective for developing SSR markers for *T. crinita* using the available sequence data from phylogenetically related genera, such as *Eleusine* and *Cynodon*.

Objectives

- 1) To develop SSR markers for *Trichloris crinita* using sequence data from *Eleusine* and *Cynodon* species.
- 2) To evaluate marker transferability across *T. crinita*-related taxa.
- 3) To assess SSR polymorphism and genetic diversity in *T. crinita* accessions.

MATERIALS AND METHODS

Source of sequence data, microsatellites search and primer design

All the available genomic sequences (GSS) of *Eleusine coracana* (633 sequences; 0.4 Mbp), *Cynodon dactylon* (404 sequences; 0.2 Mbp) and '*Cynodon dactylon* x *Cynodon transvaalensis*' (92 sequences; 0.04 Mbp) were downloaded from the NCBI database on April 15, 2016. These species were selected based on their phylogenetic proximity to *T. crinita* and the availability of sequences in the database.

SSR motifs were identified using the program MISA (31). Only perfect microsatellites, with a basic motif of 2-6 nt, and a minimum length of 12 nt (for di-, tri-, and tetranucleotides), 15 nt (for pentanucleotides), and 18 nt (for hexanucleotides) were considered.

The position of the detected SSRs in the genomic sequence was recorded, and primers pairs flanking 105 SSRs were designed. These SSR loci were selected because they had larger number of repeat units, as this feature has been associated with higher polymorphism rate (6).

For primer design, the software Primer3 v4.0.0 (32) was used, using parameters to generate amplicons of 200-500 bp, and primer length of 22-30 nt with T_m of 55-62°C and GC content of 30-50 %. Other parameters used the program default values.

Plant materials

Eight *Trichloris crinita* accessions and five related grass species (*Cynodon dactylon*, *Eleusine coracana*, *Eleusine indica*, *Chloris gayana*, and *Chloris castilloniana*) from the Germplasm Bank of Native Grasses (GBNG) at the Argentine Institute for Research in Arid Regions (IADIZA) (Mendoza, Argentina), were used in this study. Characteristics of these plant materials -used for marker development, evaluation of marker transferability across species, and analysis of genetic diversity within *T. crinita*- are presented in table 1 (page 5).

DNA extraction and PCR and gel electrophoresis conditions

For DNA extraction, fresh young leaves of a single plant from each accession were harvested and immediately ground in liquid nitrogen with a mortar.

The resulting powder (~20 mg) was used for DNA isolation according to Murray and Thompson (1980). DNA concentration and purity were determined with a Picodrop spectrophotometer (PicoPet 01), and DNA integrity was evaluated by 0.9% agarose gel-electrophoresis. DNA samples were diluted to a final concentration of ~30 ng/ μ l and used as template in PCR amplifications.

PCR reactions were performed in 20 μ l final volume containing 11.6 μ l water,

2 μ l 10 \times DNA polymerase buffer, 1.6 μ l dNTPs (2.5 mM each), 1 μ l 5 μ M of each primer, 0.3 μ l Taq polymerase at 3 U/ μ l and 2.5 μ l of genomic DNA. Thermocyclers were programmed as follows: initial denaturation at 94°C for 30 sec, followed by 40 cycles of 94°C for 45 sec, appropriate annealing temperature for 30 sec, and 72°C for 1 min; and a final step of 72°C for 4 min.

Agarose (3%) gel electrophoresis used ethidium bromide(4 μ l/100ml of TAEbuffer) for visualization of the amplicons. A 100 bp ladder (Invitrogen) was used as size marker. Denaturing polyacrylamide (6%) gel electrophoresis was run at 1500 V, 60 W and 40 mA for 3 hours. Silver staining was performed and the gels were photographed for later genotype analysis. SSR allele sizes were estimated by comparisons with a 100 bp DNA ladder (Invitrogen).

SSR marker analysis

For analysis of marker transferability across species, 105 SSR primer pairs were evaluated using as template for PCRs genomic DNA from eight *T. crinita* accessions and five phylogenetically-related grass species (table 1, page 5). PCR products were resolved by agarose gel electrophoresis. An SSR marker was considered transferable to a target species when positive amplifications with amplicons of expected size, were observed in that species. For the accessions and SSRs that failed to produce amplicons of expected size or yielded no PCR products at all, a second round of PCRs was performed, and if the same results were observed, they were recorded as "negative PCR reactions".

Table 1. Species and accessions used for SSR marker development, and analyses of marker transferability and genetic diversity**Tabla 1.** Especies y accesiones utilizadas para el desarrollo de los marcadores SSR, análisis de transferibilidad y diversidad genética.

Species	Accession Number (IADIZA-GBNG)	Comments / remarks	References
<i>Trichloris crinita</i>	Tc-3	Medium biomass production. Medium drought resistance.	(5, 9)
<i>Trichloris crinita</i>	Tc-4	High biomass production. Medium drought resistance.	(5, 9)
<i>Trichloris crinita</i>	Tc-7	High biomass production.	(9)
<i>Trichloris crinita</i>	Tc-8	Low biomass production.	(9)
<i>Trichloris crinita</i>	Tc-9	Low biomass production. Good forage quality.	(2, 9)
<i>Trichloris crinita</i>	Tc-12	High biomass production. High drought resistance.	(5, 9)
<i>Trichloris crinita</i>	Tc-17	Medium biomass production. Medium drought resistance.	(5, 9)
<i>Trichloris crinita</i>	Tc-24	High biomass production. Medium drought resistance.	(5, 9)
<i>Chloris castilloniana</i> Lillo & Parodi	Chc-01	South American native grass. High forage quality. No available SSRs for this species.	(32)
<i>Chloris gayana</i> Khunt (Rhodes grass)	Chg-01	Important forage grass native to tropical and subtropical Africa. No available SSRs for this species.	(33)
<i>Eleusine coracana</i> (finger millet)	Ec-01	SSR donor species / Native to Africa. Used as cereal crop in arid/semi-arid regions.	-
<i>Eleusine indica</i> (goosegrass)	Ei-01	African native C4 grassweed of rain-fed agriculture. Very few SSRs available for this species.	(34, 35)
<i>Cynodon dactylon</i> (Bermuda grass)	Cd-01	SSR donor species / Important perennial grass, widely cultivated in warm regions.	-
<i>C. dactylon</i> x <i>C. transvaalensis</i> *	-	SSR donor species.	-

Species used for marker development (*i.e.*, SSR donor species) are indicated in bold. * '*C. dactylon* x *C. transvaalensis*' was only used as a source of DNA sequence for marker development but was not included in the analyses of marker transferability and/ or genetic diversity.

IADIZA-GBNG: Argentine Institute for Research in Arid Regions- Germplasm Bank of Native Grasses.

Las especies utilizadas para el desarrollo de marcadores están indicadas en negrita. * '*C. dactylon* x *C. transvaalensis*' fue utilizada para el desarrollo de marcadores, pero no fue incluida en los análisis de transferibilidad y/o diversidad genética.

IADIZA-GBNG: Instituto Argentino de Investigación en Regiones Áridas - Banco de Germoplasma de Pastos Nativos.

SSRs with positive amplifications (*i.e.*, SSRs that produced amplicons of expected size) in all *T. crinita* accessions and the related grass species were selected for further analysis of marker polymorphism and genetic diversity. For this, SSR amplification products were generated and resolved by denaturing polyacrylamide gel (6%) electrophoresis, run at 1500V, 60W and 40 mA for 3 hours. The gels were stained with silver nitrate and photographed for later analysis. SSR allele sizes were estimated by comparison with a DNA size ladder.

The genetic diversity analysis was performed on eight *T. crinita* accessions and five other grass species phylogenetically-related to *Trichloris*. The latter species were included in the analysis as putative out-groups. Marker data for each locus and accession were recorded, and a binary matrix with information on the presence or absence of SSR alleles was constructed and used for estimating pair-wise genetic similarities among the accessions (Jaccard coefficient) (28), using the software XLSTAT v.2016.05.33324.

A dendrogram reflecting genetic similarities among the taxa was constructed using the Unweighted Pair Group Method with arithmetic Average (UPGMA) procedure with the XLSTAT software.

Based on the SSR band patterns, and considering *T. crinita* as a tetraploid species (26), observed (H_o) and expected (H_e) heterozygosity values were estimated for each marker, according to Bever and Felber (1992) with the program ATETRA 1.0 (33) using 10,000 Monte Carlo simulations. He was used as a measure of the level of polymorphism in each locus, despite the absence of

Hardy-Weinberg equilibrium. Three categories of H_e values [low ($H_e \leq 0.3$), moderate ($0.3 < H_e \leq 0.5$) and high ($0.5 < H_e$)] were established to describe the polymorphism level at each SSR locus. It must be noted that analyses of H_o and H_e was restricted to the *T. crinita* germplasm.

RESULTS

A total of 105 primer pairs were designed flanking SSRs detected in genomic sequence of three grass species phylogenetically-related to *Trichloris* [*Eleusine coracana* (65 SSRs), *Cynodon dactylon* (21 SSRs) and '*C. dactylon* x *C. transvaalensis*' (19 SSRs)]. The selected SSRs corresponded to di- (37%), tri- (27%), tetra- (29%) and pentanucleotides (7%).

SSR marker transferability across grass species

The number and percentage of transferable SSR markers from each donor species to *T. crinita* accessions and 5 other grasses are presented in table 2 (page 7). In total, 16 markers, representing 15.2% of the SSRs tested, were transferable to *T. crinita* (*i.e.*, 16 markers amplified products of expected size in *T. crinita* accessions). Of these, seven SSRs were developed from *E. coracana*, six from *C. dactylon*, and three from '*C. dactylon* x *C. transvaalensis*'. Table 3 (page 8-9), presents further information on the 16 SSRs that were successfully transferred to *T. crinita*, including primer sequence, annealing temperature, repeat motif, expected and observed amplicon lengths, number of alleles, and observed (H_o) and expected (H_e) heterozygosity values for each marker.

Table 2. Number (and percentage) of transferable SSR markers from each donor species to *Trichloris crinita* accessions and five other grasses.
Tabla 2. Número (y porcentaje) de marcadores SSR transferibles de cada especie donante a las accesiones de *Trichloirs crinita* y otras cinco gramíneas.

Donor species	Positive/ total SSRs (%)	Number (%) of transferable SSRs										Mean (%) ‡		
		<i>Eleusine indica</i>	<i>Eleusine coracana</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>Chloris castilloniana</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Trichloris crinita</i>							
						Tc-3	Tc-4	Tc-7	Tc-8	Tc-9	Tc-12	Tc-17	Tc-24	
<i>E. coracana</i>	24/65 (36.9)	15 (23.1)	24 (36.9)	7 (10.8)	5 (7.7)	6 (9.2)	5 (7.7)	6 (9.2)	5 (7.7)	7 (10.8)	5 (7.7)	6 (9.2)	6 (9.2)	8 (12.1)
<i>C. dactylon</i>	10/21 (47.6)	3 (14.3)	2 (9.5)	6 (28.6)	4 (19)	10 (47.6)	4 (19)	5 (23.8)	4 (19.0)	6 (28.6)	4 (19.0)	5 (23.8)	5 (23.8)	5 (23.1)
<i>C. dactylon</i> x <i>C. transvaalensis</i>	19*	1 (5.3)	2 (10.5)	1 (5.3)	3 (15.8)	10 (52.6)	2 (10.5)	2 (10.5)	3 (15.8)	2 (10.5)	3 (15.8)	3 (15.8)	3 (15.8)	3 (15.4)
Total (%) †		19 (18)	28 (26.6)	14 (13.3)	12 (11.4)	26 (24.7)	11 (10.5)	13 (12.4)	12 (11.4)	16 (15.2)	12 (11.4)	14 (13.3)	14 (13.3)	

* *C. dactylon* x *C. transvaalensis* was only used as a source of sequence data for developing SSR markers, but was not included in the transferability assay, therefore, the number and percentage of positive SSRs were not calculated for this species.

‡ Mean and percentage values calculated on the basis of the SSR markers developed from the donor species *E. coracana* (65), *C. dactylon* (21) and *C. dactylon* x *C. transvaalensis* (19).

† The percentage of positive SSRs amplified in each species was calculated on the basis of 105 total SSRs tested.

**C. dactylon* x *C. transvaalensis* fue utilizada para el desarrollo de marcadores pero no fue incluida en los análisis de transferibilidad, por lo tanto, el número y porcentaje de SSRs positivos no fue calculado para esta especie.

‡ Valores medios y porcentajes calculados sobre la base de número de SSR desarrollados a partir de cada una de las especies donantes *E. coracana* (65), *C. dactylon* (21) and *C. dactylon* x *C. transvaalensis* (19).

† El porcentaje de SSRs con amplificación positiva en cada especie fue calculado sobre la base de un total de 105 SSRs evaluados.

Table 3. Information for 16 genomic SSR markers (GSSRs) successfully transferred to *Trichloris crinita*, and number of alleles (A), and observed (*He*) and expected (*Ho*) heterozygosity values estimated for each SSR locus in a collection of *Trichloris crinita* accessions.

Tabla 3. Información de los 16 marcadores SSR genómicos (GSSRs) que fueron exitosamente transferidos a *Trichloris crinita*, número de alelos (A), y valores de heterocigosis observada (*Ho*) y esperada (*He*) para cada locus SSR en accesiones de *Trichloris crinita*.

SSR marker	Motif	Donor species	PCR product size (bp)		Primer sequence (5'-3')	T _m (°C)	A	He	Ho
			Exp.	Obs.					
GSSR-2	(TG) ₄₂	<i>C. dactylon</i> x <i>C. transvaalensis</i>	243	110	F: AAAACGGTCCATCCATGTTGATGC R: TAGGCTTCGTACAGAAATTTATCTGCCT	59.8	1	0	0
GSSR-8	(AC) ₂₈	<i>C. dactylon</i> x <i>C. transvaalensis</i>	179	128-140	F: CAGAAAATCACAGTTCAGATTACTG R: AGTTCTTTTCTAGCCCTTTATAAGACATCT	53.2	5	0.59	0.45
GSSR-11	(TG) ₂₃	<i>C. dactylon</i> x <i>C. transvaalensis</i>	191	139-165	F: AATATGTAATGCCTGAGATTCAAAGCTCA R: GTTCCAATAAATGGTGGTTCTGTAG	56.8	6	0.79	1
GSSR-44	(TGA) ₁₁	<i>Eleusine coracana</i>	303	270	F: ACTCGAATGAGGGAGGCAATTCCTACA R: CTTGTTTTCTCAAAGTAGCTCCTTTGCC	60.5	1	0	0
GSSR-51	(TGA) ₈	<i>Eleusine coracana</i>	240	250	F: ACCATCATAGAGCTCATGAGATGTAACCTT R: ATAGCTAGCTGAGGTGATGTAGAAAGCT	58.6	1	0	0
GSSR-52	(TGA) ₈	<i>Eleusine coracana</i>	197	300	F: ATGAGATGTAACCTTTTGATGAAACAACCT R: TTTGACCCCTTCTGTAGTGGTGGAAAGCA	59	1	0	0
GSSR-53	(TGA) ₈	<i>Eleusine coracana</i>	230	400	F: CTAACACCATCATAGAGTCAATGAGATGT R: CGATGTAGAAAGCTTTTGTGACCCTCTTCT	57.2	1	0.22	0

Polymorphic markers in the *T. crinita* collection are denoted in bold. SSRs that amplified successfully across all the taxa of the transferability panel (*i.e.*, all *T. crinita* accessions, *Eleusine indica*, *Eleusine coracana*, *Chloris castillonia*, *Chloris gayana*, *Cynodon dactylon*) are denoted in italics.

Los marcadores polimórficos en *T. crinita* se indicaron en negrita. Los SSRs que amplificaron exitosamente en todos los materiales del panel de transferibilidad (*i.e.*, todas las accesiones de *T. crinita* y las demás gramíneas) se indicaron con letras itálicas.

Table 3 (cont.). Information for 16 genomic SSR markers (GSSRs) successfully transferred to *Trichloris crinita*, and number of alleles (A), and observed (*Ho*) and expected (*He*) heterozygosity values estimated for each SSR locus in a collection of *Trichloris crinita* accessions.

Tabla 3 (cont.). Información de los 16 marcadores SSR genómicos (GSSRs) que fueron exitosamente transferidos a *Trichloris crinita*, número de alelos (A), y valores de heterocigosis observada (*Ho*) y esperada (*He*) para cada locus SSR en accesiones de *Trichloris crinita*.

SSR marker	Motif	Donor species	PCR product size (bp)		Primer sequence (5'-3')	T _m (°C)	A	He	Ho
			Exp.	Obs.					
GSSR-72	(GCA) ₆	<i>Eleusine coracana</i>	294	540-550	F: TAGGAATTCCGCCCGCCGAATCTTTCGAT R: TTGCCAATTTGAAAATAGGCTCCATCT	59.5	4	0.66	0.61
GSSR-76	(CATC) ₄	<i>Cynodon dactylon</i>	298	350	F: TATGAATCAGGAGGTCATCCAGCA R: TTTTGGCTTCTGCAAGTCTCATCAGGG	61.5	1	0	0
GSSR-77	(GATC) ₄	<i>Cynodon dactylon</i>	642	600-610	F: ATCGCCGAAACATTGAGATGGACGA R: ACGTCATGTAGTCGGTGTATCGGTTACA	60.7	3	0.70	0.83
GSSR-80	(CCGT) ₄	<i>Eleusine coracana</i>	180	170-180	F: CTCTGACTTGTTTAGGCTAGTAGC R: TAGTTACCGGGGTGTGTGTTGATCGTT	59.8	1	0	0
GSSR-89	(AGCT) ₃	<i>Cynodon dactylon</i>	164	400	F: ACTGCCTACTTACTGTCAAGCAAGCAA R: GAGCAGGGGACTCAACAATATCTTA	58.9	1	0	0
GSSR-90	(CGGC) ₃	<i>Cynodon dactylon</i>	187	170-180	F: AAATGCTTGATTAGCTAAGGGGAGA R: TAGGGTCCAGTTCGACACATTGTT	57.6	2	0.49	0.50
GSSR-93	(TTGC) ₃	<i>Cynodon dactylon</i>	184	180-190	F: TTGATTTGATTCGTCTTACCAATTCGGC R: GAAACAAAACCATCCTTACAGGT	56.4	3	0.56	0.31
GSSR-94	(TTGC) ₃	<i>Cynodon dactylon</i>	181	180	F: TTGATTTGATTCGTCTTACCAATTT R: ACAAAAACCATCCTTACAGGTCACA	54.5	1	0	0
GSSR-100	(CACG) ₃	<i>Eleusine coracana</i>	187	187-190	F: TATGAGAGAAAACCAACCGGTAGGAGACT R: TACGGTTCGCAGTTCGACACATTGTT	60.2	2	0.48	0

Polymorphic markers in the *T. crinita* collection are denoted in bold. SSRs that amplified successfully across all the taxa of the transferability panel (*i.e.*, all *T. crinita* accessions, *Eleusine indica*, *Eleusine coracana*, *Chloris castillontana*, *Chloris gayana*, *Cynodon dactylon*) are denoted in italics. Los marcadores polimórficos en *T. crinita* se indicaron en negrita. Los SSRs que amplificaron exitosamente en todos los materiales del panel de transferibilidad (*i.e.*, todas las accesiones de *T. crinita* y las demás gramíneas) se indicaron con letras itálicas.

The extent of marker transferability across grass species was associated with the phylogenetic proximity between donor and target species (table 2, page 7). Thus, markers developed from *E. coracana* sequences were more transferable to *Eleusine* species (~ 23-37% of transferable SSRs) than to *Chloris* (5-7%) and *Cynodon* (6%). Similarly, SSRs developed from *Cynodon* sequence data (*i.e.*, from *C. dactylon* and '*C. dactylon* x *C. transvaalensis*') had highest transferability to *C. dactylon* (~ 48-53% of transferable SSRs), with reduced success rate observed in *Chloris* (~ 5-29%) and *Eleusine* (~5-14%).

Overall, regardless of sequence source, 19 SSR markers amplified successfully in *Eleusine indica*, 28 in *Eleusine coracana*, 14 in *Chloris gayana*, 12 in *Chloris castilloniana*, and 26 in *Cynodon dactylon*. Further information on these SSR markers is presented in Electronic Supplementary Material-Tables S1-S5, including primer sequence, annealing temperature, SSR motifs, amplicon lengths, and sequence source (donor species and sequence IDs at NCBI).

Four SSR markers, namely GSSR-51, GSSR-52, GSSR-53, and GSSR-93 (table 3, page 8-9), amplified products of expected size in all the accessions and species evaluated (table 1, page 5), suggesting that they may be useful for comparative analysis among Chloridoideae species.

SSR polymorphism and genetic diversity in Trichloris crinita

Six of the 16 SSRs (37.5%) that were successfully transferred to *T. crinita* were polymorphic -as resolved by polyacrylamide gel electrophoresis- in a

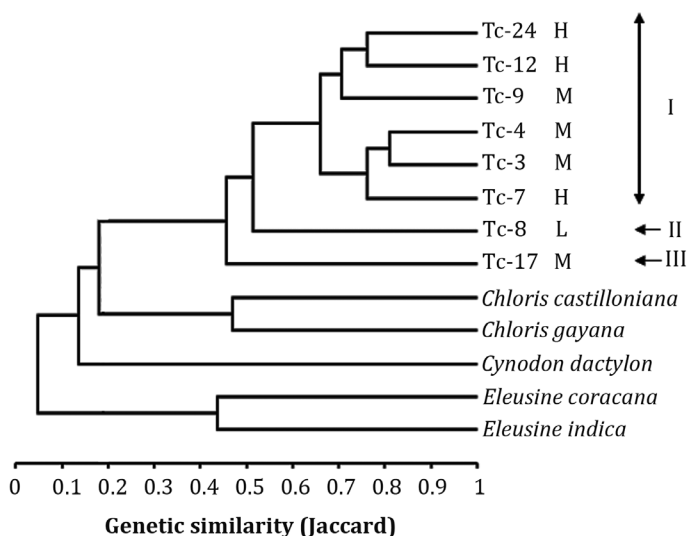
sample set of eight *T. crinita* accessions varying in forage biomass production and morphological traits (table 1, page 5). These polymorphic SSRs yielded a total of 23 alleles. The number of alleles per SSR locus (A) varied from two to six, with a mean of 3.8. Expected heterozygosities (*He*) ranged from 0.48 to 0.79, with mean of 0.63, whereas observed heterozygosities (*Ho*) ranged from 0.0 to 1.0, with mean of 0.53 (table 3, page 8-9). GSSR-11 (A = 6, *He* = 0.79) and GSSR-100 (A = 2, *He* = 0.48) were the most and the least polymorphic markers, respectively. Analysis of these types of data, including *He*, *Ho* and the inbreeding coefficient (F_{IS}) were used in a previous study with these SSRs to infer about the reproductive mode of *T. crinita*.

Considering all the markers (*i.e.*, polymorphic and monomorphic SSRs), the mean number of alleles per locus was 2.12, with a range of one to six. Mean *He* was 0.28 and ranged from 0.0 to 0.79, whereas mean *Ho* was 0.23 and ranged from zero to one (table 3, page 8-9). Nine SSRs (56%) had *He* values lower than 0.3 (low polymorphism), two SSRs (12%) exhibited values between 0.3 and 0.5 (moderate polymorphism) and five SSRs (31%) had *He* values higher than 0.5 (high level of polymorphism).

Genetic diversity and relatedness among *T. crinita* accessions was evaluated by estimating pair-wise genetic similarities (Jaccard coefficient) among the accessions. Genetic similarity (GS) values ranged from 0.35 (between Tc-3 and Tc-17, indicating that these were the two most genetically different accessions) to 0.81 (between Tc-3 and Tc-4, the genetically closest accessions). The mean GS among all *T. crinita* accessions was 0.57.

A phenogram, constructed on the basis of six polymorphic SSRs depicted genetic relations among *T. crinita* accessions and five related grass species (figure 1). All *T. crinita* accessions were clearly separated from the other grasses (used as outgroups), including two close relatives of *Trichloris* (*Chloris castilloniana* and *Chloris gayana*), indicating a coherent genetic clustering of the taxa.

Within *T. crinita*, all the accessions were clearly discriminated. By clustering the accessions with more than 60% genetic similarity (GS=0.6), three groups of accessions were revealed. Cluster I grouped 75% of the accessions, whereas groups II and III had one accession each.



Roman numerals indicate groups discriminated at 60% genetic similarity. For *Trichloris crinita*, taxa are indicated by the accession number, followed by a letter indicating whether they have high (H, > 120 g dry matter/plant), medium (M, between 60 and 120 g DM/plant), or low (L, less than 60 g DM/plant) biomass yield, according to Cavagnaro *et al.* (5).

Los números romanos indican grupos de accesiones con $\geq 60\%$ de similitud genética. Para *Trichloris crinita*, se indica el número de accesión seguido de una letra que indica si es de alta (H, > 120 g materia seca/planta), media (M, entre 60 y 120 g MS/planta) o baja (L, menos de 60 g MS/planta) productividad de biomasa forrajera, de acuerdo con Cavagnaro *et al.* (5).

Figure 1. Phenetic relations among eight *Trichloris crinita* accessions and 5 phylogenetically-related grass species (outgroups) obtained from SSR marker data, using UPGMA cluster analysis of the Jaccard similarity coefficient.

Figura 1. Relaciones fenéticas entre ocho accesiones de *Trichloris crinita* y 5 especies de gramíneas filogenéticamente-relacionadas con *Trichloris*, obtenidas sobre la base de datos de marcadores SSRs. El análisis de agrupamiento usó la metodología UPGMA y el coeficiente de similitud genética de Jaccard.

No clear association was found between the clustering of the taxa and the accessions biomass production, as reported previously using AFLP markers (5), nor between clustering and the geographical origin of the taxa (data not presented).

DISCUSSION

The present study is the first report on the development of SSR markers in *Trichloris crinita*, an important forage grass from arid and semi-arid regions of America. Due to the lack of sequence data for this species, the markers developed herein used available genomic sequences (GSS) from other phylogenetically-related grasses of the Chloridoideae subfamily, namely *Eleusine coracana*, *Cynodon dactylon* and '*C. dactylon* x *C. transvaalensis*'. Nearly 15% (16/105) of the total SSRs evaluated were successfully transferred to *T. crinita*, with transfer rates ranging from 10.8% (for markers developed from *E. coracana* sequences) to 28.6 % (for *C. dactylon* markers). These values are seemingly low, as compared with previously reported cross-genera SSR transfer rates within Poaceae subfamilies. For example, transferability of EST-SSRs between two Chloridoideae species, *tef* (*Eragrostis tef*) and bermuda grass (*Cynodon dactylon*), was ~ 32% (35). Similarly, transferability of EST-SSRs in the Pooideae subfamily was also higher than in the present study, with transfer rates from 27% [from wheat (*Triticum aestivum*) to harding grass (*Phalaris aquatica*)] to 68% [from tall fescue (*Festuca arundinacea*) to Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*)], as well as in Panicoideae, with 79-100% of transferred markers among maize, sorghum and earl millet (35).

However, these comparisons are not surprising, since EST-derived SSRs are known to present higher transferability, because coding regions are more conserved among related species, than SSRs developed from genomic sequence (GSSRs) (8, 9). Thus, transfer rates of the GSSRs developed in this study, although still relatively low, are comparable with cross-genera transferabilities of GSSRs reported previously in Apiaceae (22-42%) (6), Rosaceae (20%) (29), Asteraceae [17.6% between sunflower (*Helianthus annuus*) and safflower (*Carthamus tinctorius*)] (11), and Fabaceae [~ 23-24% among mungbean (*Vigna radiata*), common bean (*Phaseolus vulgaris*), and soybean (*Glycine max*)] (30).

Six of the 16 SSRs successfully transferred were polymorphic in a collection of eight phenotypically-diverse *T. crinita* accessions (table 1, page 5), revealing two to six alleles per SSR, with a mean of 3.83.

The level of polymorphism at each locus was estimated by means of the expected heterozygosity (*He*), instead of the 'polymorphism index content' (PIC) traditionally used for estimating SSR polymorphism in diploid species, because estimation and interpretation of the PIC in polyploids, such as the tetraploid *T. crinita*, is particularly complex, as discussed by Liu *et al.* (2007). These and other authors (23) have reported strong and significant correlation ($r = 0.9917$, $p < 0.01$) between *He* and PIC in tetraploids, suggesting that *He* can be used effectively for estimating the level of polymorphism in SSR loci in tetraploids. Thus, for the six polymorphic markers of our study, the degree of polymorphism ranged from moderate ($He = 0.48$), in one SSR, to high ($He = 0.56-0.79$), in five SSR loci, with a mean *He* of 0.63 (table 3, page 8-9). It must be noted that these polymorphic SSRs were used in a previous study for calculating inbreeding

coefficient (F_{IS}) values in *T. crinita* accessions, as a means for inferring about the species reproductive behavior (16).

The relatively low number of polymorphic loci observed (6/16) may be partially due to the autogamous nature of *T. crinita* (16). Also, the sample set of accessions selected for marker analysis in this study (table 1, page 5) may have limited the detection of more polymorphic SSRs.

In other words, if larger and more genetically diverse *T. crinita* germplasm were evaluated (e.g., in natural populations, or using germplasm collections from different geographical origins), additional polymorphic markers and new alleles may be revealed.

The SSR analysis revealed considerable genetic variation among *T. crinita* accessions, with pair-wise GS values ranging from 0.35 to 0.81. These results are in full agreement with those reported by Cavagnaro *et al.* (2006), indicating GS values of 0.31 to 0.92 among 20 *T. crinita* accessions using AFLP markers. It must be noted that the same GS coefficient (Jaccard) was used in both studies, and that the eight accessions used in the present study were among the plant materials used by Cavagnaro *et al.* (2006).

The SSR-based cluster analysis clearly separated all the grass genera into distinct groups (figure 1, page 11), and depicted their genetic relatedness to *Trichloris*, and among themselves, in full agreement with current phylogenetic and taxonomic relationships in the Chloridoideae (10, 14).

Thus, in decreasing order of phylogenetic proximity to *Trichloris*; *Chloris*, *Cynodon* and *Eleusine* were associated with the *Trichloris* cluster at GS values of 0.18, 0.13, and 0.05, respectively (figure 1, page 11).

Chloris and *Trichloris* are close relatives and the two genera share many morphological features. This has led to controversies of whether *Chloris* and *Trichloris* are the same genus (1) or whether they should be regarded as different genera (21).

The results from the SSR cluster analysis, demonstrating a clear separation of all *Trichloris* accessions from the two *Chloris* species, at GS of 0.18 (figure 1, page 11), and the fact that GS values between all the *Trichloris* taxa and *C. castilloniana* (mean GS = 0.15; range = 0.12-0.17) and *C. gayana* (GS mean = 0.21; range = 0.18-0.30) were very low, support the separation of *Chloris* and *Trichloris* as two distinct genera.

In addition to the 16 SSRs transferred to *T. crinita*, 12 and 14 SSR markers could be transferred to *Chloris castilloniana* and *Chloris gayana*, respectively (Electronic Supplementary Material-Tables S1-S5). These represent the first SSR markers developed for these orphan grass species. Additionally, these markers were polymorphic -and they were able to discriminate- between the two *Chloris* species (figure 1, page 11).

The high resolution observed for these SSRs in separating the two *Chloris* species (at a GM value < 0.50) suggest that they may be useful for fingerprinting and characterizing genetic diversity in intra-specific plant collections of *C. gayana* and *C. castilloniana*.

The positive SSRs in *Cynodon dactylon* (26 SSRs), *Eleusine coracana* (28 SSRs) and *E. indica* (19 SSRs), adds potentially new informative markers to the molecular toolkit of these species.

CONCLUSIONS

It is expected that the SSR markers developed in this study will be instrumental in a number of genetic research

projects of *Trichloris crinita* and -perhaps-related grass species. Successful applications of these markers for progeny testing and estimation of inbreeding coefficients were recently reported in a study aimed at elucidating the reproductive system of *T. crinita* (16). In addition, these SSRs can be used for assisting breeding programs of this species.

REFERENCES

1. Anderson, D. E. 1974. Taxonomy of the genus *Chloris* (Gramineae). Brigham Young University Science Bulletin Biological Series. 19: 1-133.
2. Bever, J. D.; Felber, F. 1992. The theoretical population genetics of autopolyploidy. Oxford Surveys in Evolutionary Biology. 8: 185-185.
3. Bruno, C.; Balzarini, M. 2010. Distancias genéticas entre perfiles moleculares obtenidos desde marcadores multilocus multialélicos. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 42(2): 171-182.
4. Cavagnaro, J. B.; Dalmasso, A. 1983. Response to different intensity and frequency of cutting in native grasses of Mendoza. *Pappophorum caespitosum* and *Trichloris crinita*. Deserta. 7: 203-218.
5. Cavagnaro, P. F.; Cavagnaro, J. B.; Lemes, J. L.; Masuelli, R. W.; Passera, C. B. 2006. Genetic diversity among varieties of the native forage grass *Trichloris crinita* based on AFLP markers, morphological characters, and quantitative agronomic traits. Genome. 49: 906-918.
6. Cavagnaro, P. F.; Chung, S. M.; Manin, S.; Yildiz, M.; Ali, A.; Alessandro, M. S.; Iorizzo M.; Senalik, D. A.; Simon, P. W. 2011. Microsatellite isolation and marker development in carrot - genomic distribution, linkage mapping, genetic diversity analysis and marker transferability across Apiaceae. BMC Genomics. 12: 386.
7. Cerqueira, E. D.; Sáenz, A. M.; Rabotnikof, C. M. 2004. Seasonal nutritive value of native grasses of Argentine Calden Forest Range. Journal of Arid Environments. 59: 645-656.
8. Chabane, K.; Ablett, G. A.; Cordeiro, G. M. 2005. EST versus genomic derived microsatellite markers for genotyping wild and cultivated barley. Genetic Resources and Crop Evolution. 52: 903-909.
9. Chen, X.; Cho, Y.; Mc Couch, S. 2002. Sequence divergence of rice microsatellites in *Oryza* and other plant species. Molecular Genetics and Genomics. 268: 331-343.
10. Columbus, J. T.; Cerros-Tlatilpa, R.; Kinney, M. S.; Siqueiros-Delgado, M. E.; Bell, H. L.; Griffith, M. P.; Refulio-Rodriguez, N. F. 2007. Phylogenetics of Chloridoideae (Gramineae): a preliminary study based on nuclear ribosomal internal transcribed spacer and chloroplast trnL-F sequences. Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany. 23: 565-579.
11. García-Moreno, M. J.; Velasco, L.; Pérez-Vich, B. 2010. Transferability of non-genic microsatellite and gene-based sunflower markers to safflower. Euphytica. 175: 145-150.

12. Grandón, N. G.; Alarcón, Y.; Moreno, M. V. Arolfo, V.; Orodizzi, A.; Basigalup, D. H. Gieco, J. O.; Bruno, C. 2013. Genetic diversity among alfalfa genotypes (*Medicago sativa* L.) of non-dormant cultivars using SSR markers and agronomic traits. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 45(2): 181-195.
13. Greco, S. A.; Cavagnaro, J. B. 2002 Effects of drought in biomass production and allocation in three varieties of *Trichloris crinita* (Poaceae) a forage grass from the arid Monte region of Argentina. *Plant Ecology*. 164: 125-136.
14. Hilu, K. W.; Alice, L. A. 2001. A phylogeny of Chloridoideae (Poaceae) based on *matK* sequences. *Systematic Botany*. 26: 386-405.
15. Kalia, R. K.; Rai, M. K.; Kalia, S.; Singh, R., Dhawan, A. K. 2011. Microsatellite markers: An overview of the recent progress in plants. *Euphytica*. 177: 309-334.
16. Kozub, P. C.; Barboza, K.; Galdeano, F.; Quarín, C. L.; Cavagnaro, J. B.; Cavagnaro, P. F. 2017. Reproductive biology of the native forage grass *Trichloris crinita* (Poaceae; Chloridoideae). *Plant Biology*. 19: 444-453.
17. Liu, Z. P.; Liu, G. S.; Yang, Q. C. 2007. A novel statistical method for assessing SSR variation in autotetraploid alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Genetics and Molecular Biology*. 30: 385-391.
18. Mahajan, R.; Gupta, P. 2012. Molecular markers: their use in tree improvement. *Journal of Forest Science*. 58: 137-144.
19. Martínez, L.; Cavagnaro, P. F.; Masuelli, R. W. 2006. Caracterización molecular de variedades de vid (*Vitis vinifera* L.) de calidad enológica por marcadores microsatélites. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 38(1): 77-86.
20. Murray, M. G.; Thompson, W. F. 1980. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 8: 4321-4325.
21. Nicora, E. G.; Rúgolo de Agrasar, Z. E. 1987. Los géneros de gramíneas de América austral. Buenos Aires, Argentina.
22. Passera, C. B.; Borsetto, O.; Candia, R. J.; Stasi, C. R. 1992. Shrub control and seedling influences on grazing capacity in Argentina. *Journal of Range Management*. 45: 480-482.
23. Qu, L. J.; Wu, G. Q.; Li, X. Y.; Yang, N. 2004. Conservation efficiency of local chicken breeds in different farms as revealed by microsatellite markers. *Acta Genetica Sinica*. 31: 591-595.
24. Quiroga, E.; Blanco, L.; Oriente, E. 2009. Evaluación de estrategias de rehabilitación de pastizales áridos. *Ecología Austral*. 19: 107-117.
25. Roig, F. A. 1971. Flora y vegetación de la Reserva Forestal de Ñacuñán. La vegetación. *Deserta*. 1: 201-239.
26. Roodt, R.; Spies, J. J. 2003. Chromosome studies in the grass subfamily Chloridoideae. II. An analysis of polyploidy. *Taxon*. 52: 736-746.
27. Silva Colomer, J.; Cavagnaro, J. B.; Lemes, J.; Medero, M. 1989. Productivity and nutritive values in three ecotypes of *Trichloris crinita*, a native forage grass of the arid zones of Argentina. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress*. Montpellier. France. 815-816.
28. Sneath, P. H. A.; Sokal, R. R. 1973. *Numerical Taxonomy*. San Francisco. California.
29. Stafne, E. T.; Clark, J. R.; Weber, C. A.; Graham, J.; Lewers, K. S. 2005. Simple sequence repeat (SSR) markers for genetic mapping of raspberry and blackberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 130: 722-728.
30. Tangphatsornruang, S.; Somta, P.; Uthaisaisanwong, P.; Chanprasert, J.; Sangsrakru, D.; Seehalak, W.; Sommanas, W.; Tragoonrung, S.; Srinives, P. 2009. Characterization of microsatellites and gene contents from genome shotgun sequences of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *BMC Plant Biology*. 24: 137.
31. Thiel, T.; Michalek, W.; Varshney, R.; Graner, A. 2003. Exploiting EST databases for the development and characterization of gene-derived SSR-markers in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 106: 411-422.

32. Untergasser, A.; Cutcutache, I.; Koressaar, T.; Ye, J.; Faircloth, B. C.; Remm, M.; Rozen, S. G. 2012. Primer3-new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Research*. 40: e115.
33. Van Puyvelde, K.; Van Geert, A.; Triest, L. 2010. ATETRA, a new software program to analyse tetraploid microsatellite data: comparison with TETRA and TETRASAT. *Molecular Ecology Resources*. 10: 331-334.
34. Wang, M. L.; Barkley, N. A.; Yu, J. K. 2005. Transfer of simple sequence repeat (SSR) markers from major cereal crops to minor grass species for germplasm characterization and evaluation. *Plant Genetic Resources*. 3: 45-57.
35. Zeid, M.; Yu, J. K.; Goldowitz, I.; Denton, M. E.; Costich, D. E.; Jayasuriya, C. 2010. Cross-amplification of EST-derived markers among 16 grass species. *Field Crops Research*. 118: 28-35.

ACKNOWLEDGMENTS

The work was supported by grants from Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado, Universidad Nacional de Cuyo, Proyectos 06A/476 and 06A/569. Perla Carolina Kozub is a fellow of the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Assessment of soil properties, plant yield and composition, after different type and applications mode of organic amendment in a vineyard of Mendoza, Argentina

Evaluación de propiedades edáficas químicas, biológicas, rendimiento y composición vegetal en un viñedo de Mendoza (Argentina) con diferentes tipos y modos de aplicación de abono orgánico

Laura Elizabeth Martínez ^{1,2}, Rosana Celia Vallone ^{1,2}, Patricia Noemí Piccoli ², Silvia Elisa Ratto ³

Originales: *Recepción*: 03/06/2017 - *Aceptación*: 28/10/2017

ABSTRACT

Research on grapevines has indicated that organic amendment application (OAA) increases the nutrient content of soil and plant tissue. Microbial functional groups are extensively used as soil fertility indicators because they are highly sensitive to changes in climatic and management conditions and they accurately represent entire biological processes. The goal of the present study was to evaluate the interactive effects of OAA on microbiological and chemical properties of soil and plants of a vineyard in Mendoza, Argentina. The following factors were evaluated: type of organic amendment (compost or vermi compost), application mode (surface or buried) and frequency of application (one or two applications). The field experiment was carried out using a factorial randomized complete block design. The following soil parameters were analyzed before and after OAA: microbial abundance related to the carbon and nitrogen cycle, total microbial activity, salinity and fertility. Yield, pruning weight, trunk diameter and nutritional variables of the vine were determined at the end of the assay. The results showed that microorganisms were not affected by the type of amendment, the application method or frequency. After OAA, the total abundance of microorganisms was similar, and soil salinity was not affected. Phosphorus depended on the strategy or combinations. Total phosphorus in petioles was higher after one or two buried applications (0.43% and 0.39%, respectively). In conclusion, OAA to irrigated soil of arid areas in Mendoza, Argentina, could be considered a promising supplementary treatment to increase the nutrient content in soil and vine.

Keywords

compost • vermi compost • microorganisms • grapevine • organic fertilizers

-
- 1 Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Mendoza. San Martín 3853. (5507). Mendoza. Argentina. martinez.laura@inta.gov.ar
 - 2 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad Ciencias Agrarias. Almirante Brown 500. M5528AHB. Mendoza. Argentina.
 - 3 Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Avda. San Martín 4453. (1417). Buenos Aires. Argentina.

RESUMEN

La aplicación de abonos orgánicos (AAO) en viñedos es una práctica frecuente para aumentar el contenido de nutrientes del suelo y planta. Los grupos funcionales microbianos se utilizan ampliamente como indicadores de fertilidad del suelo porque son altamente sensibles a las condiciones climáticas y culturales, y son los responsables de los procesos biológicos. El objetivo de este estudio fue evaluar si estas premisas son válidas en las condiciones de la experiencia en un viñedo de Mendoza (Argentina). Los abonos empleados fueron compost y vermicompost con dos tipos de aplicación (superficial y enterrado) y frecuencia de aplicación (una y dos aplicaciones). Los indicadores medidos en suelo fueron: abundancia microbiana relacionada con el ciclo del carbono y nitrógeno; actividad microbiana total; variables de salinidad y fertilidad. En el cultivo se midió rendimiento, peso de poda, diámetro del tronco y contenido de nutrientes. El diseño experimental fue factorial de bloques completos al azar. La abundancia y actividad microbiana no se vieron afectadas por el tipo de abono, el modo o la frecuencia de aplicación. La salinidad del suelo no fue afectada por AAO. El fósforo en el suelo, respondió a las diferentes estrategias combinadas de aplicación. El fósforo total en los pecíolos fue mayor después de una o dos aplicaciones enterradas (0,43% y 0,39%, respectivamente). Los resultados indican la estabilidad de la actividad y abundancia microbiana en relación con la aplicación de los abonos en un suelo con coberturas vegetales. La aplicación de OAA demostró efectos beneficiosos sobre los indicadores nutritivos del cultivo y sobre la economía de los recursos.

Palabras claves

compost • vermi compost • microorganismos • vid • abonos orgánicos

INTRODUCTION

Organic amendment applications (OAA) as a sustainable vineyard management aim to preserve soil fertility and non-renewable resources, as well as optimization of land use. Organic amendments used in agriculture are manure, compost and vermi compost. The latter two products are stable and obtained through a composting process. Addition of compost or vermi compost to soil increases organic matter (OM) and nutrient concentration (5, 7, 8, 10, 11, 27). Studies in grapevines have indicated that OAA increase the nutrient content of soil and plant (21, 22). The effect of this agronomic practice respect chemical and microbiology aspect of the soils, depends on the crop, type

of amendment, dose, application and frequency. Microbial functional groups (MFG) are extensively used as soil fertility indicators because they are highly sensitive to changes in climatic and management conditions, and they accurately represent entire biological processes. For example, dynamics of nitrogen availability can be precisely determined by measuring abundance of nitrifiers and nitrogen-fixing microorganisms.

In contrast, ammonifiers do not unanimously respond to changes produced in soil because their population is very heterogeneous (1).

Despite the low OM of soils in Mendoza, Argentina, there is limited

information about the effects of OAA on soil properties and grapevine growth and yield. Composting and vermicomposting could be a viable recycling strategy for agricultural and industrial organic residues. As regards vermicomposting, earthworm activity results in stabilized OM that differs from the initial substrate.

The end product has a fine particulate structure, a high nutritional value and a great diversity of microorganisms (6, 26). A local study with vermi compost and compost of the same original material did not demonstrate any difference in nutrition or microorganism abundance (2). Application of organic amendments is usually in holes or furrows near the plant roots (9). Phosphorus is a nutrient required by the plant, but in calcareous soils it is rapidly transformed into compounds unavailable for the plant (12, 16).

However, Martínez and Nazrala (1968), concluded that surface application of this element was optimal for soil fertility. Other studies have demonstrated positive effects of compost mulch applications on soil fertility and vineyard quality (21).

Morlat (2008), assayed the response of vineyard nutrients after several years of OOA to determine an effect of consecutive applications.

The goal of the current study was to assess the effect of different organic amendments on the microbiological and chemical properties of soil and plants of a vineyard in Mendoza, Argentina.

The type of amendment (compost vs. vermicompost), application technique (surface vs. buried application) and application frequency (one vs. two applications) were assayed for their effect on chemical and microbiological characteristics of the soil and on grape plant growth and yield.

MATERIALS AND METHODS

Experimental site and soil characteristics

The study was carried out in a vineyard located in Mendoza, Argentina (32°35' S and 68°31' W) during two consecutive growing seasons. The average annual precipitation of the experimental site is 245 mm and the average temperature in January is 28.9°C. The vineyard was planted with *cv. Sauvignon Blanc* in 1986 using a typical planting density of 2.5 m between plants and rows, which have a north-south orientation. Plants were guided by a horizontal canopy training system ("parral") and single Guyot pruned with 30 buds per plant. Vines were surface-irrigated and the inter-row areas were planted with cover crops: *Avena sativa*, *Hordeum vulgare* and *Vicia sativa*.

The cover crops were sown in winter and they were cut at the end of the season. In summer, growth of spontaneous vegetation covered the inter-rows. Soil was classified as Typic Torrifluvents with a silt loam texture, mixed, calcareous, thermal and it belongs to the *Las Compuertas* serie (24, 25).

Experimental design and treatments

The field experiment was carried out using a randomized complete block design with three factors and four replicates. Blocks were oriented so that the energy gradient was perpendicular to the irrigation factor. Homogeneity of the plants was measured through the trunk diameter. The following factors were applied:

- Type of organic amendment: compost (C) and vermi compost (V).
- Application mode: surface (S) and buried (B).
- Frequency of application: one and two applications.

Treatments resulted from combinations of the three factors. Each experimental plot corresponded to fifteen adjacent plants distributed throughout three consecutive rows. All measurements were performed on the five central vines. In addition, four control plots were left without OAA.

The piles were formed with chicken manure and poplar sawdust to standardize the C/N ratio to 30.

The piles were 1.50 m high and 30 m long. Temperature and humidity of the piles were maintained at 50°C and 50%, respectively, through regular aeration and irrigation. After 60 days, the piles were divided into two, each one, 20 m long, 1 m wide and 0.35 m high.

One half was left to continue with the same maturation process (composting) and the other half was placed in vermicomposting beds for maturation. Vermicomposting beds were inoculated with approximately 30,000 worms m⁻² (*Eisenia foetida*) and irrigated to maintain humidity at approximately 80%.

Composting beds were harvested after 120 days and vermicomposting beds after 180 days, respectively. Both products were sieved (2mm) and packed until application (table 1, page 21) (2).

Two application methods were assayed:
1- In buried, OAA was placed in a 20 cm deep furrow which was then covered with soil. Soil was furrowed and spread by a tractor equipped with a grading grid.
2- In surface, OAA was also placed in a furrow, but in this case it was manually covered with dry cover crop residues. The application rate in both cases was low: 8 Mgha⁻¹.

The applications were performed one per year, for two consecutive years.

Soil sampling

Soil of each experimental plot was sampled once prior to each OAA (one per year, for two consecutive years). Soil samples (500 g) were collected from the top layer (0-20 cm) of each plot. Field-moist samples were immediately transported to the laboratory, dried for 24 h and subsequently passed through a 2 mm sieve. Subsamples of each plot were stored at 5°C for microbiological, physico-chemical and chemical analyses.

Chemical soil analysis

The pH of the soil was determined in saturated soil paste and the electrical conductivity (EC) in saturated extract (22). Oxidizable organic carbon (OOC) was determined according to the Walkley-Black method. Total nitrogen (TN) was measured using the Kjeldahl method. Available phosphorus (P) was extracted from water through bubbling with carbon dioxide and quantified colorimetrically using ascorbic acid supplemented with molybdate. Exchangeable potassium (K) was extracted with 1 M ammonium acetate, pH 7. All methods have been previously described by Page *et al.* (1982).

Microbiological soil analysis

Abundance of nitrifiers, ammonifiers and cellulolytic microorganisms was measured by the most probable number method in specific liquid culture media. Saccharolytic and nitrogen-fixing microorganisms (NFO) were determined by plate counting (3). Total microbial activity (TMA) was determined by soil respiration (4).

Table 1. Chemical and microbiological characteristics of compost and vermicompost obtained from a mixture of chicken manure + poplar sawdust and shavings.**Tabla 1.** Características químicas y microbiológicas de compost y vermicompost obtenidos de una mezcla de cama de pollo y aserrín.

	Compost	Vermicompost
Humidity (%)	48.9	57.6
Organic matter (%)	25.7	29.0
Total Nitrogen (g kg ⁻¹)	17.3	16.2
Total Phosphorus (g kg ⁻¹)	15.0	15.4
Total Potassium (g kg ⁻¹)	3.5	1.9
Total Sodium (g kg ⁻¹)	4.1	3.5
Total Calcium (g kg ⁻¹)	135.2	114.9
Total Magnesium (g kg ⁻¹)	9.4	7.3
Nitrate as nitrogen (mg kg ⁻¹)	965.6	809.4
Ammonium as nitrogen (mg kg ⁻¹)	39.5	28.4
Total Carbon/Total nitrogen	8.6	10.4
Electrical conductivity (1:5) (dS m ⁻¹)	1.4	0.8
pH (1:5)	7.13	7.00
Saccharolytic microorganisms (log ₁₀ g ⁻¹)	0.48	0.30
Cellulolytic microorganisms (log ₁₀ g ⁻¹)	3.65	2.78
N ₂ -Fixing microorganisms (log ₁₀ g ⁻¹)	0.00	2.97
Ammonifying microorganisms (log ₁₀ g ⁻¹)	3.15	2.48
Nitrifying microorganisms (log ₁₀ g ⁻¹)	2.31	0.00

Vine growth and yield parameters

During the harvest at the end of the second growth period, clusters from five plants of each experimental plot were extracted. During dormancy, pruning was weighed and the trunk diameter of the plants was measured.

Nutritional analysis of leaf petioles

Inveraison at the end of the second growth period, adult and healthy leaves located between the fifth and seventh node were extracted from the plant.

Total nitrogen was analyzed using the Kjeldahl method. Total phosphorus (P) was measured colorimetrically and K was determined using atomic absorption spectroscopy (AAS).

Statistical analysis

Data analysis was conducted with analysis of variances (ANOVA) using INFOSTAT software version 2010. Main effects and interactions were assessed for significance levels, and Fisher's LSD test was used to calculate differences between means.

RESULTS

Soil parameters

Before OAA, soil ammonifiers were dominant, followed in number by saccharolytic and cellulolytic microorganisms and, to a lower degree, nitrifiers; also soil respiration was low before OAA (table 2, page 23). The soil had a sandy loam texture, a slightly alkaline pH, was not saline and presented no sodium or chloride toxicity risk (table 3, page 24). Initial fertility was satisfactory in TN content, high exchangeable K level, but low available P content. Soil OM was relatively high compared to normal values of soils in the area, as result probably, of the permanent plant cover (table 4, page 25).

Biological and chemical characteristics after OAA

Microorganisms were not affected by the type of amendment, the application method or frequency of application. After OAA, the total microorganisms abundance was similar between them, while at the beginning of the assay, ammonifiers were dominant. Soil salinity was not affected by OAA and, EC and chloride content did not increase after OAA.

The compost and vermi compost used in the experiment were slightly saline and the application dose was low (table 1, page 21).

Available P of the soil differed among the type of amendment and application procedure combinations. It was observed that this nutrient was in the lowest content in buried compost (4.00 mg kg^{-1}) (table 4, page 25, and figure 1, page 26).

Vine productivity

The yield vine productivity (table 5, page 27), was satisfactory in all treatments respect to the normal yield of high quality grapevine varieties. With regard to the application method, pruning weight of plants that had received surface compost application (2.13 kg pl^{-1}) was higher than that of plants after buried compost (1.49 kg pl^{-1}). Contrary, the trunk diameter was larger in plants that had received a single buried vermi compost application (figure 2, page 29; table 5, page 27).

Total K measured in leaf petioles was 15% higher ($p=0.0072$) in plots with amendment applications than in plots without it (control plots).

Total P content was higher in one and two buried applications (0.43% and 0.39%, respectively) compared to one surface application (table 4, page 25 and figure 1, page 26). A significant interaction was observed between the application method and frequency.

Table 2. Abundance of soil microorganisms (mo's) and microbiological activity before and after OAA (means \pm SD, n = 4; Fisher's LSD Test $p \leq 0.05$).**Tabla 2.** Abundancia de microorganismos de suelo y actividad microbiológica, antes y después de la AAO (valor medio \pm desviación estándar, n = 4; Fisher Test $p \leq 0.05$).

	Saccharolytic Mo's ($\log_{10} g^{-1}$)	Cellulolytic Mo's ($\log_{10} g^{-1}$)	N ₂ -Fixers ($\log_{10} g^{-1}$)	Ammonifiers ($\log_{10} g^{-1}$)	Nitrifiers ($\log_{10} g^{-1}$)	SR ($mgCO_2 g^{-1} week^{-1}$)
Before OAA	5.18 \pm 0.25	1.47 \pm 0.56	5.94 \pm 0.28	9.42 \pm 0.15	0.99 \pm 0.38	0.26 \pm 0.04
Control	6.06 \pm 0.16	5.43 \pm 0.58	7.13 \pm 0.13	5.43 \pm 0.58	1.89 \pm 0.41	0.36 \pm 0.09
Type (T)						
Compost	6.29 \pm 0.41	3.85 \pm 0.68	7.09 \pm 0.40	4.79 \pm 0.47	2.35 \pm 0.80	0.41 \pm 0.14
Vermicompost	6.34 \pm 0.47	4.16 \pm 0.71	7.26 \pm 0.20	4.79 \pm 0.67	2.27 \pm 0.60	0.36 \pm 0.16
Mode (M)						
Buried	6.25 \pm 0.49	3.96 \pm 0.80	7.20 \pm 0.30	4.79 \pm 0.65	2.25 \pm 0.52	0.40 \pm 0.14
Surface	6.38 \pm 0.38	4.05 \pm 0.61	7.16 \pm 0.35	4.79 \pm 0.50	2.36 \pm 0.85	0.36 \pm 0.16
Application frequency (F)						
One application	6.29 \pm 0.33	3.87 \pm 0.67	7.12 \pm 0.30	4.71 \pm 0.69	2.09 \pm 0.73	0.37 \pm 0.15
Two applications	6.34 \pm 0.53	4.14 \pm 0.73	7.23 \pm 0.35	4.87 \pm 0.42	2.52 \pm 0.60	0.40 \pm 0.14
T	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TxM	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TxF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MxF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TxMxF	ns	ns	ns	ns	ns	ns

SR: Soil respiration, ns: not significant
 SR: Respiración edáfica, ns: no significativa.

Table 3. Soil salinity and sodicity before and after OAA (means \pm SD, n = 4; Fisher's LSD Test $p \leq 0.05$).
Tabla 3. Salinidad y sodicidad edáfica antes y después de la AAO (valor medio \pm desviación estándar, n = 4; Fisher Test $p \leq 0,05$).

	EC (dSm^{-1})	pH	Chloride ($\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$)	Sodium ($\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$)	Calcium + Magnesium ($\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$)	SAR
Before OAA	1.59 \pm 0.81	7.50 \pm 0.07	3.99 \pm 0.92	4.97 \pm 1.62	14.7 \pm 10.29	1.94 \pm 0.19
Control	1.39 \pm 0.19	7.70 \pm 0.13	4.51 \pm 0.48	5.67 \pm 1.08	16.76 \pm 3.90	1.96 \pm 0.20
Type (T)						
Compost	1.38 \pm 0.29	7.71 \pm 0.18	4.29 \pm 1.14	4.76 \pm 0.93	15.24 \pm 2.96	1.78 \pm 0.17
Vermicompost	1.35 \pm 0.16	7.67 \pm 0.16	4.61 \pm 1.03	4.94 \pm 0.95	15.93 \pm 3.16	1.72 \pm 0.18
Mode (M)						
Buried	1.35 \pm 0.16	7.66 \pm 0.15	4.29 \pm 0.96	4.89 \pm 0.87	15.86 \pm 2.84	1.74 \pm 0.20
Surface	1.39 \pm 0.31	7.71 \pm 0.19	4.61 \pm 1.20	4.81 \pm 1.01	15.30 \pm 3.28	1.79 \pm 0.16
Application frequency (F)						
One application	1.30 \pm 0.16	7.75 \pm 0.12b	4.12 \pm 0.97	4.76 \pm 0.88	14.70 \pm 2.36	1.71 \pm 0.16
Two applications	1.44 \pm 0.29	7.63 \pm 0.19a	4.78 \pm 1.11	4.93 \pm 0.99	16.46 \pm 3.43	1.81 \pm 0.20
T	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F	ns	*	ns	ns	ns	ns
TxM	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TxF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MxF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TxMxF	ns	ns	ns	ns	ns	ns

EC: Electrical Conductivity, SAR: Sodium Absorption Relation, ns: not significant, * significant ($p \leq 0.05$)

Means followed by different letters within the same column are significantly different ($P \leq 0.05$).

EC: Conductividad Eléctrica, SAR: Relación de Adsorción de Sodio; ns: no significativa; * significativo ($p \leq 0,05$).

Valores medios seguidos de letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

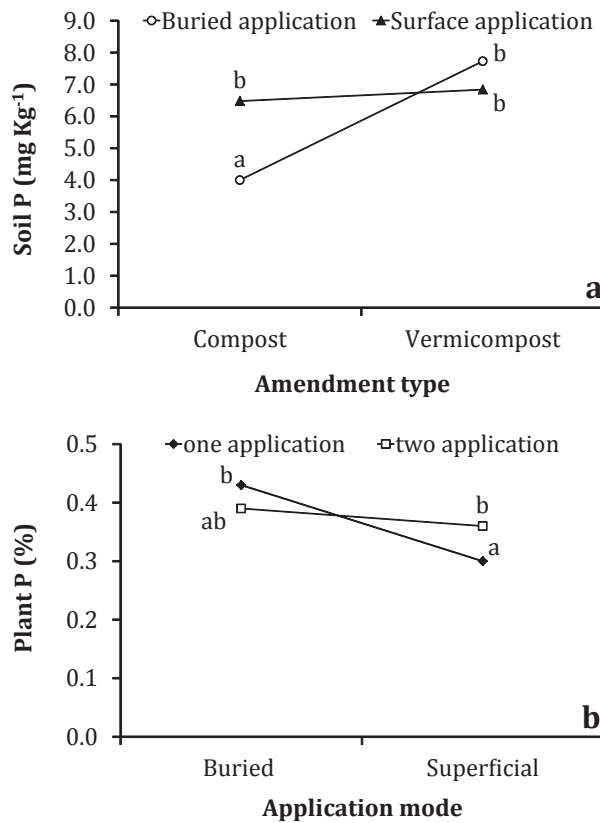
Table 4. Soil fertility before and after OAA (means \pm SD, n = 4; Fisher's LSD Test $P \leq 0.05$).

Tabla 4. Fertilidad edáfica antes y después de la AAO (valor medio \pm desviación estándar, n = 4; Fisher Test $P \leq 0,05$).

	Soil nitrogen (mg kg ⁻¹)	Soil phosphorus (mg kg ⁻¹)	Soil potassium (mg kg ⁻¹)	SOM (%)
Before OAA	696.8 \pm 114.9	1.86 \pm 0.19	180.6 \pm 24.9	1.20 \pm 0.18
Control	554.94 \pm 59.13	4.29 \pm 1.73	211.00 \pm 32.52	1.20 \pm 0.26
Type (T)				
Compost	613.19 \pm 154.52	5.19 \pm 1.84	224.94 \pm 49.89	1.09 \pm 0.30
Vermicompost	595.56 \pm 147.36	7.41 \pm 2.63	238.33 \pm 46.89	1.09 \pm 0.24
Mode (M)				
Buried	559.81 \pm 126.06	5.85 \pm 2.78	220.06 \pm 48.31	1.01 \pm 0.26
Surface	648.94 \pm 160.09	6.66 \pm 2.08	243.53 \pm 46.47	1.16 \pm 0.26
Application frequency (F)				
One application	590.31 \pm 149.27	6.38 \pm 1.99	228.38 \pm 48.05	1.07 \pm 0.30
Two applications	618.44 \pm 151.84	5.85 \pm 2.58	234.67 \pm 49.69	1.11 \pm 0.24
T	ns	*	ns	ns
M	ns	ns	ns	ns
F	ns	ns	ns	ns
T*M	ns	*	ns	ns
T*F	ns	ns	ns	ns
M*F	ns	ns	ns	ns
T*M*F	ns	ns	ns	ns

SOM: Soil Organic Matter; ns: not significant; * significant ($p \leq 0.05$).

SOM: materia orgánica del suelo; ns: no significativo; * significativo ($p \leq 0,05$).



Different letters indicate significant difference (Fisher's LSD Test, $p \leq 0.05$).

Letras diferentes indican diferencias significativas (Fisher Test, $p \leq 0,05$).

Figure 1. Interaction between amendment (compost or vermicompost) and application (buried or superficial) for available phosphorus (mg kg^{-1}) (a), and interaction between application (buried or superficial) and frequency (1 or 2 applications) for total plant phosphorus (%) (b). Data show means between two factors ($n=8$).

Figura 1. Interacción entre tipo de abono (compost and vermicompost) and modo de aplicación (enterrado y superficial) para fósforo disponible (mg kg^{-1}) (a), e interacción entre modo de aplicación (enterrado y superficial) y frecuencia de aplicación (1 y 2 aplicaciones) para fósforo total vegetal (%) (b). Los datos muestran el valor medio entre los dos factores mencionados ($n=8$).

Table 5. Yield, pruning weight, trunk diameter and nutrient content of vine (means \pm SD, n = 4; Fisher's LSD Test $P > 0.05$).
Tabla 5. Rendimiento, peso de poda y diámetro de tronco de la planta de vid (valor medio \pm desviación estándar, n = 4; Fisher Test $P \leq 0,05$).

	yield (kg ha ⁻¹)	pruning weight (kg plant ⁻¹)	trunk diameter (cm)	total nitrogen (%)	total phosphorus (%)	total potassium (%)
Control	5762 \pm 2265	1.18 \pm 0.57	6.53 \pm 0.38	0.76 \pm 0.08	0.32 \pm 0.04	1.83 \pm 0.29
	Type (T)					
Compost	7117 \pm 2028	1.81 \pm 0.80	6.80 \pm 0.58	0.75 \pm 0.04	0.35 \pm 0.07	2.08 \pm 0.22
Vermicompost	7577 \pm 2622	1.88 \pm 0.82	7.05 \pm 0.70	0.75 \pm 0.06	0.37 \pm 0.08	2.07 \pm 0.18
	Mode (M)					
Buried	7265 \pm 2403	1.77 \pm 0.80	7.03 \pm 0.63	0.74 \pm 0.05	0.41 \pm 0.05	2.09 \pm 0.21
Surface	7428 \pm 2304	1.92 \pm 0.81	6.82 \pm 0.67	0.77 \pm 0.06	0.33 \pm 0.08	2.06 \pm 0.18
	Application frequency (F)					
One application	6790 \pm 2066	1.85 \pm 0.82	7.04 \pm 0.69	0.76 \pm 0.05	0.35 \pm 0.09	2.04 \pm 0.21
Two applications	7904 \pm 2484	1.84 \pm 0.80	6.81 \pm 0.60	0.75 \pm 0.06	0.38 \pm 0.04	2.12 \pm 0.17
T	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M	ns	ns	ns	ns	*	ns
F	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T*M	ns	*	ns	ns	ns	ns
T*F	ns	ns	*	ns	ns	ns
M*F	ns	ns	*	ns	*	ns
T*M*F	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: not significant; * significant ($p \leq 0.05$).

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

DISCUSSION

Biological soil characteristics

After OAA, the microorganisms had similar populations, which agrees with results obtained by Filippini *et al.* (2012), in plots cultivated with garlic.

The initial high quantity of ammonifiers in this study would indicate a major mineralization of the soil organic nitrogen. As a result, available ammonium would increase, which could encourage growth of different microorganisms, but especially nitrifiers (20).

Consequently, after OAA soil microorganisms increased in number, except for ammonifiers.

According to Noé and Abril (2008), variations in the abundance of microorganisms after one year were closely related to the climatic conditions and physiological characteristics of each MFG.

Abril (2003) stated that ammonifiers are not sensitive to changes in soil because they are an heterogeneous functional group whereas other authors observed that this population decreased after one year of plant residues decomposition or by fertilizers application (17).

Soil respiration did not show any difference among the factors assayed (table 2, page 23). Soil respiration levels were similar to soil with low microbial activity and soils with conventional tillage (19).

An increase in soil respiration would be controlled by the increased of microbial abundance after OAA. Cover crops could periodically provide OM and stimulate microbial activity in the soil, but the effect of the application of organic fertilizers is negligible.

Chemical soil characteristics

In addition to the low content of OM, soil in Mendoza presents a high risk of salinity and sodicity. After OAA, saline conditions stayed within acceptable levels indicating that this practice could be successful in these soils. At the end of the experiment, the pH only decreased in plots that received organic amendments, but the difference was not significant compared with normal parameters of calcareous and arid soils. This means that OAA to these soils would not affect soil alkalinity or acidity (table 2, page 23).

Available P, a soil fertility parameter, showed higher concentrations in soils after organic amendment when compared to initial values. This effect has also been detected by other authors (27) and in this case, this nutrient could be considered a sensitive indicator of OAA.

Surface OAA showed higher levels of available P in soil close to the sampling time, while buried applications increased foliar P. It is difficult to deduce whether surface applications would increase available P in the soil so that the plant would be able to absorb it after buried amendment and prior to soil sampling. Organic matter did not increase after the application; soil OM and nitrogen were not affected by the type, methodology or application frequency of the amendment.

Feasible explanations could be an increase in soil respiration, an augmented microbial abundance after OAA, or a high mineralization as a consequence of high temperature of arid soils (10, 17). Because changes in soil are generally long-term effects, an increase in soil OM could be detected after several years of repeated applications or in soils without cover crops initially.

Nutrients, vine growth and yield

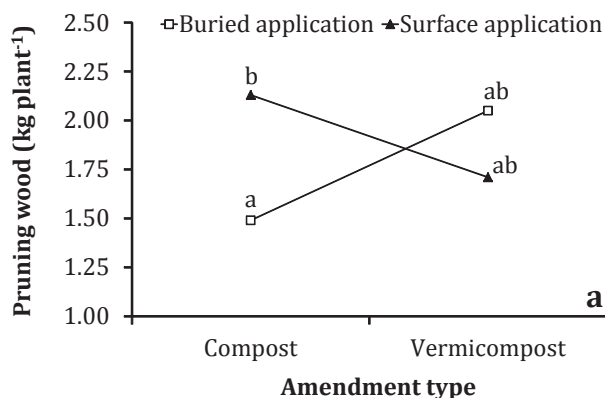
After OAA, higher concentrations of available P in soil and plants were measured. The greater uptake of P could result from P mineralization near the roots, especially after the buried method of application (one or two applications of buried vermi compost). This suggest that could be a correlation between variations in the plant nutritional status produced by OAA and intrinsic chemical soil characteristics or a change in physical soil conditions (15, 21, 22).

The results show that buried application was more favorable to the

availability of P and its subsequent absorption by plants (table 5, page 27).

Pinamonti (1998) observed a higher concentration of exchangeable K in soil and likewise of the total potassium content in leaves after OOA.

The benefits of surface compost applications significantly affected the pruning weight and so plant growth (figure 2). Nguyen *et al.* (2013), found an increase in pruning weight with mulched compost applications. Therefore, surface application would favor plant growth.

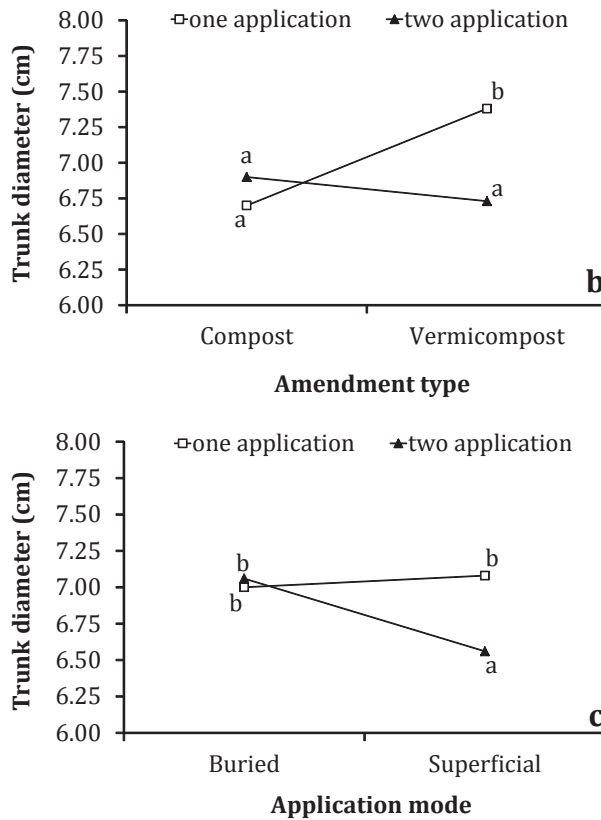


Different letters indicate significant difference (Fisher's LSD Test, $p \leq 0.05$).

Diferentes letras indican diferencia significativa (Fisher's LSD Test, $p \leq 0,05$).

Figure 2. Interaction between amendment (compost or vermicompost) and application (buried or superficial) for pruning weight (kg plant⁻¹) (a). and application frequency (one or two applications) for trunk diameter (cm) (b). interaction between application (buried or superficial) and application frequency (one or two applications) for trunk diameter (cm) (c). Data show means between two factors ($n = 8$).

Figura 2. Interacción entre tipo de abono (compost and vermicompost) y modo de aplicación (enterrado y superficial) para peso de poda (Kg planta⁻¹) (a) y frecuencia de aplicación (1 y 2 aplicaciones) para diámetro de tronco (cm)(b). la interacción modo de aplicación (enterrado y superficial) y frecuencia de aplicación (1 y 2 aplicaciones) para diámetro de tronco (cm). c. Los datos muestran el valor medio.



Different letters indicate significant difference (Fisher's LSD Test, $p \leq 0.05$).
 Diferentes letras indican diferencia significativa (Fisher's LSD Test, $p \leq 0,05$).

Figure 2. cont. Interaction between amendment (compost or vermicompost) and application (buried or superficial) for pruning weight (kg plant^{-1}) (a). and application frequency (one or two applications) for trunk diameter (cm) (b). interaction between application (buried or superficial) and application frequency (one or two applications) for trunk diameter (cm) (c). Data show means between two factors ($n = 8$).

Figura 2. cont. Interacción entre tipo de abono (compost and vermicompost) y modo de aplicación (enterrado y superficial) para peso de poda (Kg planta^{-1}) (a). frecuencia de aplicación (1 y 2 aplicaciones) para diámetro de tronco (cm) (b). la interacción modo de aplicación (enterrado y superficial) y frecuencia de aplicación (1 y 2 aplicaciones) para diámetro de tronco (cm). c. Los datos muestran el valor medio.

CONCLUSION

After organic amendment to a vineyard with cover crops, soil microorganisms were not affected by the type of amendment, the application method or application frequency.

Before OAA, ammonifiers were predominant, but after OAA, abundance of total microorganisms was similar. Presence of cover crops in the vineyard may have played a key role in the absence of differences in microbial activity. Phosphorus in plants improved after buried applications, because the treatment facilitated absorption of more available P from the soil.

Vine nutrition and plant growth were more sensitive to the different application strategies (type, form and frequency of application) than microbiological soil properties.

The low risk of soil salinity would be another advantage of the use of stabilized organic amendment.

Finally, OAA to irrigated soils of arid areas in Mendoza, Argentina, could be considered a promising supplementary treatment to increase the nutrient content in soil and vines.

REFERENCES

1. Abril, A. 2003. Are soil microorganisms good indicators of land-use impact in ecosystems? [¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas?]. *Ecología Austral*. 13(2): 195-204.
2. Abril, A.; Noe, L.; Filippini, M. F.; Cony, M.; Martínez, L. 2011. Microbial dynamics and fertility characteristics in compost from different waste and maturation processes. *The Open Agriculture Journal*. 5: 19-29.
3. Alef, K.; Nannipieri, P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London; San Diego: Academic Press.
4. Anderson, J. 1982. Soil respiration. Miller, A. R.; Keeney, D. (Eds.). *Methods of Soil Analysis*. Vol 2. Chemical and Microbiological properties. American Society of Agronomy and Soil Science. Madison, WI. p 831-872.
5. Arancon, N. Q.; Edwards, C. A.; Bierman, P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology*, 97(6): 831-840. Available in: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.016>.
6. Atiyeh, R.; Domínguez, J.; Subler, S.; Edwards, C. 2000a. Changes in biochemical properties of cow dung manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouche) and effects on seedling growth. *Pedobiologia*. 44(6): 709-724. Available in: [http://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70084-0](http://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70084-0).
7. Atiyeh, R.M.; Subler, S.; Edwards, C.; Bachman, G.; Metzger, J.D. Shuster, W. 2000b. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*. 44(5): 579-590. Available in: [http://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70073-6](http://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70073-6).
8. Beltrán Santoyo, M. A.; Álvarez Fuentes, G.; Pinos Rodríguez, J. M.; García Lopez, J. C.; Castro Rivera, R. 2017. Abonos obtenidos del compostado de heces de ganado bovino de leche vs. fertilizante en la producción de triticale (X *Triticum secale Wittmack*). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 49(1): 95-104.

9. Cony, M. 2005. Humus de lombriz: un abono orgánico de creciente uso en viticultura. *El Vino y su Industria*. 33: 84-92.
10. Filippini, M. F.; Abril, A.; Cony, M.; Noé, L.; Venier, M.; Cónsoli, D.; Vallone, R. 2012. Effects of organic amendment application on soil quality and garlic yield in Central-Western Argentina. *The Open Agriculture Journal*. 6: 1-8.
11. Gutiérrez-Miceli, F. A.; Santiago-Borraz, J.; Montes Molina, J. A.; Nafate, C. C.; Abud-Archila, M.; Oliva Llaven, M. A.; Dendooven, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Bioresource Technology*. 98(15): 2781-2786. Available in: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.032>.
12. Lipinski, V. 1978. Diagnóstico de deficiencia de fósforo en suelo del departamento de San Carlos, Mendoza. Tesis de Maestría. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
13. Martínez, H.; Nazralla, M. 1968. Estudio tendiente a determinar la mejor forma de aplicación de estiércol y abonos químicos al viñedo. I Congreso Nacional Vitivinícola. Mendoza, Argentina. 1: 1-2.
14. Morlat, R. 2008. Long-term additions of organic amendments in a Loire Valley Vineyard. II Effects on root system, growth, grape yield, and foliar nutrient status of a *Cabernet franc* vine. *American Journal Enology Viticulture*. 59: 364-374.
15. Nguyen, T. T.; Fuentes, S.; Marschner, P. 2013. Effect of incorporated or mulched compost on leaf nutrient concentrations and performance of *Vitis vinifera* cv. Merlot. *Journal of soil science and plant nutrition*. 13(2): 485-497. Available in: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000038>.
16. Nijensohn, L. 1991. Fósforo extraíble con agua carbonicada en el diagnóstico del nivel de fertilidad fosfórica en suelos aluviales regadíos. *Actas de la II Jornada Nacional Fósforo del suelo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*. 1: 32-36.
17. Noe, L.; Abril, A. 2008. Interacción entre calidad de restos vegetales, descomposición y fertilidad del suelo en el desierto del Monte de Argentina. *Ecología Austral*. 18(2): 181-193.
18. Page, A. L.; Miller, R. H.; Keeney, D. R. 1982. *Methods of soil analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. Madison, Wisconsin USA: American Society of Agronomy Inc, Soil Science Society of America Inc.
19. Pascual, J.; Garcia, C.; Hernandez, T.; Ayuso, M. 1997. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biology and Fertility of Soils*. 24: 429-434.
20. Paul, E. A.; Clark, F. E. 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. San Diego: Academic Press.
21. Pinamonti, F. 1998. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 51(3): 239-248. Available in: <http://doi.org/10.1023/A:1009701323580>.
22. Ponchia, G.; Bozzolo, A.; Tateo, F.; Concheri, G. 2012. Compost Application in the vineyard and its influence on soil characteristics, vegetative and productive behaviour of grapevine. *Acta Horticulture (ISHS)*. 938: 437-444.
23. Richards, L. 1962. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos (Vol. Manual de)*. Riverside, California, USA.
24. Romanella, C. 1957. Los suelos de la región del Río Mendoza. *Boletín de Estudios Geográficos*. 4: 14.
25. SAGyP - INTA. 1990. *Suelos de la República Argentina*.
26. Tognetti, C.; Laos, F.; Mazzarino, M. J.; Hernandez, M. T. 2005. Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science and Utilization*, 13(August 2014), 6-13. Available in: <http://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212>.
27. Tognetti, C.; Mazzarino, M. J.; Laos, F. 2008. Compost of municipal organic waste: Effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity. *Soil Biology and Biochemistry*. 40(9): 2290-2296. Available in: <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.05.006>.

Influencia de la vid (*Vitis vinifera* L.) sobre cultivos de cobertura: un modelo biomatemático de la transición de amensalismo a comensalismo

Influence of grapevine (*Vitis vinifera* L.) on cover crops: a biomathematical model of the transition of amensalism to comensalism

Carlos Rubén Bageta, Marcelo Alberto, Carmen Sartor, Adrián Ceconato, Alicia Bevaqua, Marta Tirador, Marcela Garriga, Verónica Nodaro, Alejandro Quiroga, Ernesto Uliarte (*ex aequo*).

Originales: *Recepción*: 23/12/2015 - *Aceptación*: 09/03/2017

RESUMEN

En este trabajo se estudia la dinámica de transición en la interacción entre vid (*Vitis vinifera* L.) y cultivo de cobertura. A partir de datos obtenidos en un ensayo de campo se postuló un modelo estadístico para investigar dicha interacción biológica y se pudo determinar que el sistema vid-cultivo de cobertura cambió de una interacción biológica del tipo comensalismo a otra de amensalismo, siendo la vid la que no se ve afectada. Sobre la base de esta información, se formuló un modelo biomatemático para describir esta interacción, se estimaron los parámetros del mismo y se analizó la estabilidad de los puntos de equilibrio. Se evidencia en el presente estudio que el cultivo de cobertura no afecta el crecimiento de la vid, durante el período considerado en el ensayo.

Palabras clave

Sistema dinámico • plano de fases • interacciones • vid • cultivos de cobertura • capacidad de carga • amensalismo

1 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Almirante Brown 500. M5528AHB. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina.
cbageta@fca.uncu.edu.ar

ABSTRACT

In this paper, we study the dynamics of transition in the interaction between vine (*Vitis vinifera* L.) and cover crop. From data obtained in a field essay, we propose a statistical model to investigate such biological interaction and we could determine that the vine-cover crop system changed from a biological interaction of commensalism type to another of amensalism type, being the vine not affected. Based on this information, we formulate a biomathematical model to describe this interaction, we estimate its parameters, and analyze the stability of the equilibrium points. It is evident, in this study, that the cover crop does not affect vine growth during the period considered in the essay.

Keywords

Dynamical system • phase plane • interactions • vine • green cover • carrying capacity • amensalism

INTRODUCCIÓN

La modelación matemática de la interacción entre dos especies biológicas ha sido y es objeto de una gran cantidad de trabajos de investigación tanto en el ámbito de la Ecología como en el de la Biomatemática. Desde los trabajos originales de Alfred Lotka (1910) y Vito Volterra (1925) hasta la actualidad se han propuesto numerosos y variados modelos teóricos que buscan explicar interacciones de diversos tipos como depredación, competencia o mutualismo entre especies como lo muestran Gillman y Hails (1997) y May (1981) entre otros.

En muchos casos la modelación matemática es complementada con estimación estadística a partir de mediciones de campo. Tradicionalmente se ha pensado que la interacción entre dos especies biológicas es fija. Sin embargo, se sabe que dos especies que coexisten en un ecosistema pueden interactuar de una manera cambiante a lo largo de los distintos estados ontogénicos. Por ejemplo, los individuos de dos especies podrían tener una interacción mutualista durante los primeros momentos de su desarrollo y ser competidores en etapas adultas (10).

En las últimas décadas han sido publicados trabajos de modelación matemática que abordan el problema del cambio en el tipo de interacción. Entre ellos es posible citar Addicott (1981), Wolin y Lawlor (1984), Hernández (1998) y Hernández y Barradas (2003). Los dos últimos proponen en sus trabajos, modelos de tipo Lotka-Volterra cuyos coeficientes pueden cambiar de signo según factores endógenos o exógenos, lo cual permite modelar el cambio en el tipo de interacción entre dos especies.

El énfasis de este trabajo se puso en estudiar las interacciones biológicas cambiantes en el tiempo, entre las especies *Vitis vinifera* L. (vid) y la cobertura vegetal que crece espontáneamente en los interfilares (cultivo de cobertura), y el efecto que produce la consociación entre ellas sobre la capacidad de carga de cada una.

El uso de coberturas vegetales en los interfilares es una práctica frecuente en el manejo de los viñedos, como una herramienta ambientalmente sostenible con diversos objetivos. Entre estos, se destacan la capacidad para reducir la

erosión del suelo y los consecuentes daños de las vides por los efectos del acarreo de arena (11), ya que reduce el flujo de agua, disminuye el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie e incrementa la tasa de infiltración del agua.

Además, modifica el microclima disminuyendo la temperatura en la superficie del cultivo, reduciendo la cantidad de luz reflejada en la misma y disminuyendo el riesgo de quemaduras de sol e infestaciones de ácaros (9). Asimismo, es preciso mencionar que la incorporación de cultivos de coberturas mantiene y mejora el contenido de materia orgánica del suelo, reduce la incidencia de malezas, insectos y enfermedades (15). Por último, contribuye al secuestro y almacenamiento de carbono edáfico, aunque, según Uliarte (2013, 2014), una de sus mayores limitantes consiste en el consumo extra de agua, teniendo en cuenta que el cultivo de la vid se lleva a cabo en lugares donde el agua es un factor limitante.

Podría suponerse que en los meses de primavera verano, período en el cual la vid y el cultivo de cobertura inician su crecimiento estacional, la primera beneficiaría el desarrollo del segundo (vale aclarar que el cultivo de cobertura ha sido segado en el inicio de la primavera, para que su evolución no afecte el desarrollo de la vid, lo cual es una práctica habitual en la región de estudio).

A medida que avanza la estación de crecimiento, tanto la vid como el cultivo de cobertura aumentan su biomasa, y si este crecimiento no es manejado de manera adecuada, pueden producirse interacciones antagonicas entre ellos.

Las hipótesis de trabajo sostienen que existe interacción biológica entre la vid y el cultivo de cobertura y que esta interacción cambia a partir de un valor umbral de biomasa de la vid.

Objetivos

Explorar la interacción biológica existente entre vid y cultivo de cobertura.

Estudiar matemáticamente la dinámica del cambio de la interacción biológica entre el cultivo de la vid y el cultivo de cobertura sobre la base de los resultados obtenidos en el objetivo anterior, generando para ello un modelo determinístico basado en el presentado por Hernández y Barradas (2003).

Obtener, del estudio de esta dinámica, un valor umbral de biomasa de vid, a partir del cual se produce el cambio en el tipo de interacción biológica entre las especies estudiadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En función de las hipótesis planteadas, se organizó la tarea en dos etapas. En la primera se exploró el tipo de interacción entre las componentes del sistema agroecológico (vid y cultivo de cobertura), con base en observaciones experimentales y análisis estadístico. En la segunda etapa, se propuso un modelo matemático para describir la interacción biológica entre ambos componentes.

Exploración del tipo de interacción biológica

Se llevó a cabo un trabajo de campo durante el cual se observaron las especies y se midió su crecimiento. Posteriormente, se analizaron los datos mediante métodos estadísticos con el fin de establecer el tipo de interacción biológica entre ambos componentes del sistema agroecológico.

Estudio de campo

El ensayo se realizó en un viñedo comercial de la variedad Chardonnay, de 7 años de implantación cuyo dosel se dispone en hileras y en planos paralelos verticales

(sistema de conducción en espaldero), lo que permite una mayor incidencia de la luz solar al cultivo de cobertura y con riego localizado en la planta (riego por goteo). El viñedo forma parte de una finca ubicada en el distrito Carrizal del departamento de Luján de Cuyo, Mendoza (33°16'30, 16''S; 68°57'22, 17''O).

Se utilizó un diseño experimental en parcelas completamente al azar. Cada parcela utilizada, mide 7 m de largo por 2,20 m de ancho, coincide con un claro del espaldero (conjunto de plantas de la hilera entre dos postes) y se dejó una planta en cada extremo para reducir el efecto de bordes.

A principios del mes de diciembre comenzaron las mediciones de biomasa de vid y de cultivo de cobertura con una frecuencia quincenal, culminando las mismas los primeros días del mes de marzo.

Se establecieron para el ensayo tres tratamientos: vid sola (sin cultivo de cobertura en los interfilares), cultivo de cobertura solo (sin plantas de vid presentes en la parcela) y vid con cultivo de cobertura (están presentes ambos cultivos en la parcela).

Las parcelas con vid sola se obtuvieron pasando la rastra sobre los interfilares de ambos lados de cada parcela. Las parcelas con cultivo de cobertura solo, se seleccionaron de un sector de la finca con la estructura de espaldero y riego por goteo montada pero sin vid implantada. Las parcelas de vid con cultivo de cobertura se escogieron sobre el viñedo original. Se establecieron cinco parcelas (repeticiones) de cada tratamiento.

Se tomaron las mediciones de biomasa por el método de *point quadrat* presentado por Goodall (1952). Jonasson (1998) muestra que en este método el número de toques de una especie determinada tiene una alta correlación con la biomasa de la misma. Por esto, para los propósitos del

presente trabajo, la suma del número de toques de las mediciones en cada parcela se utilizaron como medida de biomasa, constituyéndose como unidad de análisis la parcela. En lo sucesivo, y en virtud a lo mencionado, se hará referencia a las biomásas de vid y cultivo de cobertura al utilizar como variable medida el "número de toques". Dicha variable, por lo tanto, carece de las unidades utilizadas usualmente para medir biomasa.

Se consideró los puntos de medición cada 0,5 m dentro de la parcela, colocando la aguja en sentido horizontal a un metro de altura en vid; y para el cultivo de cobertura las mediciones se realizaron de manera similar, ahora colocando la aguja de manera vertical a 1 m de la manguera de riego hacia el centro del interfilare. Se totalizaron seis puntos de medición en cada parcela.

Análisis de datos

Se analizaron estadísticamente los datos recolectados en el trabajo de campo, con el objeto de explorar las posibles interacciones entre los dos componentes del sistema agroecológico: la vid y el cultivo de cobertura. Como en el dispositivo experimental hay tres tipos de parcelas: las que tienen solo vid, las que tienen solo cultivo de cobertura y las que tienen ambos cultivos; usando la jerga agronómica, se denomina parcelas "consociadas" a estas últimas. En este análisis estadístico se estudia de qué forma las biomásas de cada uno de los componentes dependen del tiempo y de la presencia o ausencia del otro componente. Esto es, de qué manera crece la biomasa (efecto del tiempo) y si lo hace de manera diferente estando presente o no el otro componente (efecto de la consociación).

Se llevó a cabo este análisis mediante el ajuste de un modelo lineal generalizado

de la familia Poisson. La otra técnica es el ajuste de curvas de crecimiento por regresión no-lineal. Ajuste de un modelo lineal generalizado de la familia Poisson.

Dado que las biomazas están expresadas como "número de toques por parcela" es adecuado abordar el procesamiento estadístico modelándolas mediante variables aleatorias "Y" de tipo Poisson y estudiar la dependencia de sus valores esperados respecto del tiempo y de la presencia del otro componente del sistema. Para esto, se planteó un modelo lineal generalizado de la familia Poisson con función de vínculo canónica. En el modelo, el tiempo se incluye como una variable continua "t" medida en días a partir del inicio del ensayo; la presencia o ausencia del otro componente se incluye mediante una variable indicadora "T" que toma el valor 0 cuando el otro componente está ausente y 1 cuando el otro componente está presente. La variable "T" es el "factor de consociación".

En este enfoque, las mediciones recolectadas en el campo de biomasa son realizaciones de muestras aleatorias independientes Poisson, en la parcela m-ésima, en cada tiempo de los J tiempos medidos y para cada uno de los 2 niveles de consociación T_k :

$$\{Y_{1jk}, Y_{2jk}, \dots, Y_{mjk}\} \stackrel{iid}{\sim} \text{Poisson}(\lambda_{jk}) \quad (1)$$

$$j = 1, \dots, J; k = 1, 2; m = 1, 2, 3, 4, 5$$

El parámetro λ representa el valor esperado del número de toques por parcela. De esta manera, el predictor lineal tiene 3 términos: el intercepto, un término para el efecto del tiempo y un término de interacción entre el tiempo y el factor de consociación:

$$\log(\lambda) = \alpha + \beta t + \gamma t T \quad (2)$$

donde:

λ = valor esperado del número de toques por parcela

t = tiempo medido en días a partir del inicio del ensayo

T = el factor de consociación

α = intercepto del modelo

β = tasa de variación del logaritmo del número de toques con respecto del tiempo

γ = coeficiente de interacción tiempo-consociación

En caso de resultar significativo el parámetro γ , su valor estimado se sumará al del coeficiente β del tiempo, aumentando o disminuyendo la tasa de variación del logaritmo de la biomasa respecto del tiempo, denotando un efecto de la presencia del otro componente sobre el crecimiento.

Modelación matemática

Propuesta del modelo

Sobre la base de los resultados estadísticos obtenidos se planteó el siguiente sistema dinámico del tipo Lotka-Volterra, que constituye una modificación al propuesto en Hernández (1998) y Hernández y Barradas (2003):

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left[1 - \frac{N_1}{K_1} \right] \\ \frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left[1 - \frac{N_2}{K_2} + \alpha_{2,1} (N_1) \frac{N_1}{K_2} \right] \end{cases} \quad (3)$$

donde:

N_1 = representa la biomasa de la vid (componente 1 del sistema)

N_2 = la biomasa del cultivo de cobertura (componente 2 del sistema)

r_1 = la tasa intrínseca de crecimiento de la vid

r_2 = la tasa intrínseca de crecimiento del cultivo de cobertura

K_1 y K_2 = las capacidades de carga de la vid y del cultivo de cobertura respectivamente

$\alpha_{2,1}(N_1)$ = la función que refleja el efecto del componente 1 sobre el componente 2

En primer lugar, la ecuación 3 sin el término que contiene la función $\alpha_{2,1}(N_1)$ representa un sistema de ecuaciones diferenciales desacoplado, donde el crecimiento de ambas componentes sigue curvas logísticas tradicionales.

Si se supone que la asociación entre ambos componentes puede alternar entre ser beneficiosa o perjudicial, el signo de $\alpha_{2,1}(N_1)$ debe cambiar necesariamente (4). Es posible, incluso, pensar dicha función como el efecto de la interacción biológica entre los dos componentes, lo cual es: beneficios menos costos para el componente 2 en función del componente 1, de acuerdo con Hernández y Barradas (2003).

Así, es posible interpretar su significado de la siguiente manera: cuando $\alpha_{2,1}(N_1) > 0$, esto indica que la presencia del componente 1 tiene una contribución positiva al factor de denso-dependencia en la tasa de crecimiento *per cápita* del componente 2; mientras que $\alpha_{2,1}(N_1) < 0$ se interpreta de la manera opuesta.

Hernández y Barradas (2003) sugieren que una forma funcional adecuada, es:

$$\alpha_{i,j}(N_j) = \frac{b_i N_j - N_j^2}{1 + c_i N_j^2} \quad i, j = 1, 2 \quad (4)$$

Se puede ver fácilmente que b_i es una raíz de la ecuación anterior y además es el valor a partir del cual la función cambia de signo.

En adelante, a estas funciones se las denominará *alfa-funciones*.

Si existe cambio en la interacción biológica entre los componentes

considerados, la función definida en la ecuación 4 debería cambiar el signo. Este cambio se daría cuando $N_j = b_i$, $i=1,2$.

Reemplazando la ecuación 4 en la ecuación 3, se obtiene: (5)

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left[1 - \frac{N_1}{K_1} \right] \quad [5.1]$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left[1 - \frac{N_2}{K_2} + \left(\frac{b_2 N_1 - N_1^2}{1 + c_2 N_1^2} \right) \frac{N_1}{K_2} \right] \quad [5.2]$$

En la ecuación 5.2, b_2 (raíz de la alfa-función) y son constantes asociadas al problema, el resto de las constantes y las variables se interpretan como en la ecuación 3.

La razón de la elección de la ecuación 5 es consecuencia del análisis estadístico.

Para obtener estimaciones de los parámetros del sistema (ecuación 5) a partir de las soluciones del mismo, se utiliza la siguiente estrategia: en el caso de r_1 , r_2 , K_1 y K_2 , se estima como valores iniciales de los mismos los parámetros que se obtienen al ajustar curvas logísticas para cada componente sin consociar y se eligen los valores iniciales de los parámetros b_2 y c_2 de forma tal que estén de acuerdo con el comportamiento asintótico de $\alpha_{2,1}(N_1)$, que muestra el siguiente límite:

$$\lim_{N_1 \rightarrow \infty} \alpha_{2,1}(N_1) = \lim_{N_1 \rightarrow \infty} \frac{b_2 N_1 - N_1^2}{1 + c_2 N_1^2} = -\frac{1}{c_2}$$

A continuación, se determinan intervalos numéricos alrededor de los valores iniciales de cada parámetro y se elabora una grilla considerando todas las combinaciones posibles de valores de los parámetros para resolver el sistema [5].

Para cada combinación de valores de los coeficientes proporcionada por la grilla elaborada, se resolvió el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias [5] utilizando el software R (2015), mediante la función "ode" del paquete "deSolve" (2010).

Mediante la suma de los cuadrados de los residuos se evaluó la bondad del ajuste de cada combinación de parámetros.

Se repitió este procedimiento de manera iterativa en todas las combinaciones que proporciona la grilla, eligiendo como mejor estimación de parámetros a aquella con la menor suma de cuadrados de residuos; a estas mejores estimaciones son: $\hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{K}_1, \hat{K}_2, \hat{b}_2$ y \hat{c}_2 .

Análisis de estabilidad

Reemplazando las mejores estimaciones en la ecuación 5 resulta:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = \hat{r}_1 N_1 \left[1 - \frac{N_1}{\hat{K}_1} \right] \\ \frac{dN_2}{dt} = \hat{r}_2 N_2 \left[1 - \frac{N_2}{\hat{K}_2} + \left(\frac{\hat{b}_2 N_1 - N_1^2}{1 + \hat{c}_2 N_1^2} \right) \frac{N_1}{\hat{K}_2} \right] \end{cases} \quad (6)$$

Para establecer los puntos de equilibrio de la ecuación 6, se resolvió el siguiente sistema, usando el software R (2015) y el paquete deSolve (2010):

$$\begin{cases} \hat{r}_1 N_1 \left[1 - \frac{N_1}{\hat{K}_1} \right] = 0 \\ \hat{r}_2 N_2 \left[1 - \frac{N_2}{\hat{K}_2} + \left(\frac{\hat{b}_2 N_1 - N_1^2}{1 + \hat{c}_2 N_1^2} \right) \frac{N_1}{\hat{K}_2} \right] = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Luego se realizó la linealización del sistema (ecuación 6), calculando la matriz Jacobiana asociada al mismo, y se evaluó en los puntos de equilibrio previamente obtenidos al resolver la ecuación 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Exploración del tipo de asociación biológica

El coeficiente de interacción γ de la vid no resulta estadísticamente diferente de cero (tabla 1). Esto indica que las tasas de variación del logaritmo de la biomasa esperada para la vid sola y para la vid en presencia del cultivo de cobertura, β y $\beta + \gamma$ respectivamente, no difieren, por ser nulo el coeficiente de interacción γ .

Este resultado sugiere que no habría evidencias para asumir que el cultivo de cobertura afecta el crecimiento de la vid e indicaría una posible indiferencia de la vid respecto del cultivo de cobertura.

Por otra parte, en el caso del cultivo de cobertura, el coeficiente de interacción γ resulta estadísticamente significativo (diferente de cero) y positivo (tabla 1). Esto indica que la tasa de variación del logaritmo de la biomasa esperada para el

Tabla 1. Ajuste del modelo de regresión Poisson para los componentes del sistema agroecológico

Table 1. (Setting) Poisson regression model for agroecological system components

Componente	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
Vid	3,06 [0,0001]***	0,00424 [0,029]*	0,00105 [0,628] ns
Cultivo de cobertura	1,27 [0,0001]***	0,0116 [0,026]*	0,0157 [0,0001]***

Cada celda presenta la estimación puntual y, entre corchetes, valor-p para la prueba de la hipótesis nula de que el parámetro es cero en verdad. 'ns' indica no significativo; '*' significativo al nivel 5% y '***' significativo al nivel 0,1%. Each cell presents the point estimate and, in brackets, p-value to test of the null hypothesis that the parameter is really zero. 'Ns' indicates not significant; '*' significant at the 5% level and '***' significant at the 0.1% level.

cultivo de cobertura solo, β , es menor que la misma tasa para el cultivo de cobertura en presencia de la vid, $\beta+\gamma$ ($\gamma>0$).

Este resultado sugiere que hay evidencias para asumir un efecto facilitador de la vid sobre cultivo de cobertura en tanto que la presencia de la primera aumenta la tasa de crecimiento del segundo.

Se realizó el ajuste de la regresión de Poisson por el método de máxima verosimilitud, utilizando el módulo *glm* del programa de computadora STATA 6.1 (2000).

Modelación matemática

Los resultados del análisis estadístico precedente permiten proponer como modelo biomatemático al presentado en la ecuación 5, donde la velocidad de crecimiento de la biomasa de la vid no es alterada por la biomasa del cultivo de cobertura de acuerdo con la ecuación 5.1. Según la ecuación 5.2, la tasa de crecimiento de la biomasa del cultivo de cobertura sí es alterada por la presencia de la biomasa de la vid. El segundo término de la ecuación 5.2 involucra una alfa-función que describe la dinámica cambiante en la interacción biológica.

Se muestra en la tabla 2, los valores de los parámetros $\hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{K}_1, \hat{K}_2, \hat{b}_2$ y \hat{c}_2 , obtenidos de acuerdo con el procedimiento descrito en la sección Materiales y Métodos.

Al resolver el sistema (ecuación 7*) se obtuvo cuatro puntos de equilibrio para los valores de las biomásas. Ellos son: (0;0), (0;9,8), (24,638;0) y (24,638;5,641). Llamando $J(N_1, N_2)$ a la matriz jacobiana asociada a [6] evaluada en cada punto de equilibrio, se obtienen matrices $J(N_1^*, N_2^*)$ asociadas a cada uno de ellos. Los resultados se muestran al pie de la página.

En primer lugar, cada matriz tiene a sus autovalores en la diagonal principal y se verifica que la parte real de cada autovalor es distinta de cero, lo que implica que los cuatro puntos de equilibrio son hiperbólicos.

De acuerdo con el Teorema de Hartman-Grobman (1991) y (1994), el espacio de fase local alrededor de cada punto de equilibrio hiperbólico es topológicamente equivalente al espacio de fase de su linealización. Por lo tanto, el tipo de estabilidad de cada uno de los cuatro puntos de equilibrio es capturado por el proceso de linealización.

Tabla 2: Valores estimados de los parámetros e intervalos de confianza respectivos para el modelo (ecuación 5, pág 38).

Table 2: Estimated parameter values and respective confidence intervals for model (equation 5, page 38).

Parámetro	Valor	Intervalo de confianza
\hat{r}_1	0,7055	[0,68654;0,72536]
\hat{K}_1	24,638	[24,629;24,648]
\hat{r}_2	0,2408	[0,2339;0,2477]
\hat{K}_2	9,8	[7,3589;12,2411]
\hat{b}_2	3,42	[2,6006;4,2394]
\hat{c}_2	5,1	[0,1079;10,092]

$$\begin{aligned}
 J(0;0) &= \begin{bmatrix} 0,7055 & 0 \\ 0 & 0,2408 \end{bmatrix} & J(0;9,8) &= \begin{bmatrix} 0,7055 & 0 \\ 0 & -0,2408 \end{bmatrix} \\
 J(24,638;0) &= \begin{bmatrix} -0,7055 & 0 \\ 0 & 0,1386 \end{bmatrix} & J(24,638;5,641) &= \begin{bmatrix} -0,7055 & 0 \\ -0,0271 & -0,139 \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{7*}$$

La condición de estabilidad para cada punto de equilibrio establece que la parte real de cada autovalor de $J(N_1^*, N_2^*)$ debe ser negativa, y las matrices $J(0;0)$, $J(0;9,8)$ y $J(24, 638; 0)$, no cumplen esa condición.

Se puede asegurar entonces que estos tres puntos constituyen combinaciones inestables de valores de biomásas y corresponden a situaciones donde no coexisten las especies: o se extinguen ambas (0; 0), o una de ellas (0; 9, 8) y (24, 638; 0).

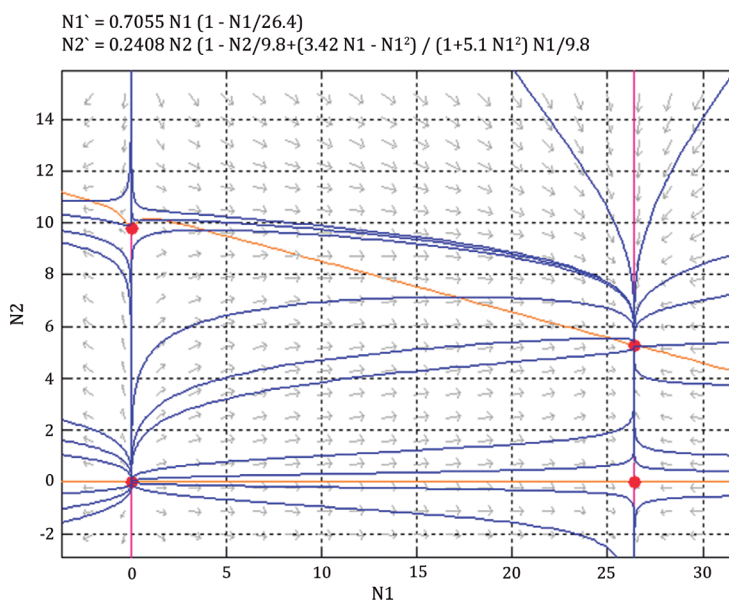
Respecto del cuarto punto de equilibrio (24,638;5,641), la matriz $J(24, 638; 5, 641)$ sí respeta la condición de equilibrio y por lo tanto, corresponde a una combinación estable de valores de vid y cultivos de cobertura consociados.

Si se llama Tr a la traza de la matriz y Det a su determinante, se cumple que:

$Tr [J(24, 638; 5, 641)] < 0$ y $Det [J(24, 638; 5, 641)] > 0$ y además: $Tr^2 [J(24, 638; 5, 641)] - 4 Det [J(24, 638; 5, 641)] > 0$, lo que permite clasificar al punto de equilibrio (24,638;5,641) como un *nodo estable* (18).

El diagrama de fase (figura 1) muestra el plano de la biomasa de vid (N_1) vs. la del cultivo de cobertura (N_2). Cada punto en el plano de fase es un estado del sistema y se representa por un par ordenado (N_1, N_2).

Cada trayectoria en el plano de fase indica un conjunto posible de sucesivos estados. Para la confección del gráfico se emplea el software pplane (13).



En negro se representa los cuatro puntos de equilibrio. En azul se observan algunas trayectorias. En rojo y amarillo se visualizan las isoclinas correspondientes a las dos componentes del sistema.

The four equilibrium points are represented in black. It can be seen in blue colour some trajectory paths. In red and yellow colours correspond to nullclines of the two components system.

Figura 1. Plano de fase cultivo de cobertura (N_2) vs. vid (N_1) del sistema (ecuación 6, pág. 39).

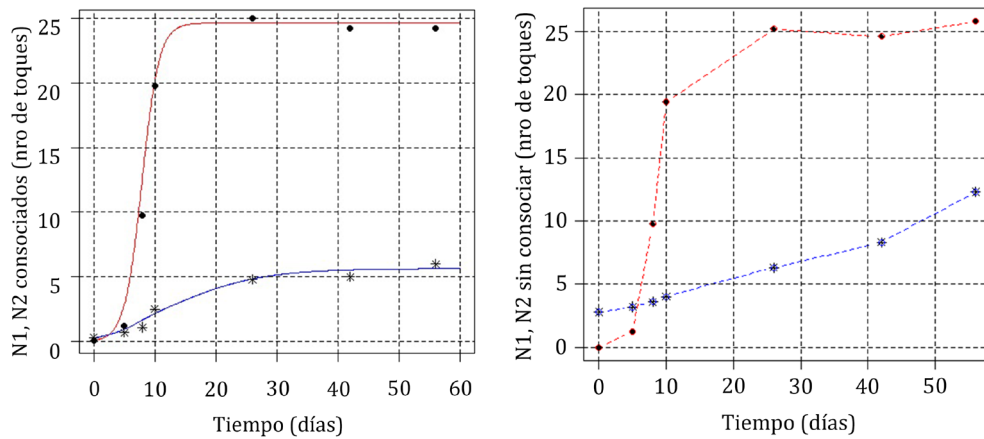
Figure 1. Green cover vs. vine phase plane of system (equation 6, page 39).

Los valores del punto de equilibrio (24,63; 5,64) representan las capacidades de carga de cada componente del sistema. Esto se puede observar en la figura 2a. A modo de comparación, en la figura 2b se representa el gráfico de las curvas de crecimiento de los cultivos no consociados (estas son las curvas de crecimiento de cada componente por separado).

En la figura 2, comparando ambas gráficas se observa que, por un lado, la tasa de crecimiento del verdeo en presencia de la vid es mayor que la misma tasa para

el verdeo solo, esto resulta del análisis estadístico.

Por otro lado, se observa que la capacidad de soporte del verdeo en presencia de la vid es menor que la misma capacidad de soporte para el verdeo solo. Esto parece contradictorio, pero podría explicarse por una relación cambiante entre ambas componentes; en un primer momento la vid facilita al verdeo y luego lo perjudica. Este cambio se produce a partir del valor umbral de biomasa de vid $b_2=3,42$ que es una raíz de la alfa-función (figura 3, pág. 43).



Las mediciones realizadas en el campo (número de toques) se grafican con: (•) vid y (*) cultivos de cobertura. En (a) se muestran las curvas correspondientes a las soluciones del sistema [6]: rojo para la vid y azul para el cultivo de cobertura. En (b) se muestran mediciones de vid (rojo) y cultivos de cobertura (azul) sin consociar. The data (number of touches) are displayed with (•) vine and (*) green cover. (a) shows the growing curves of system [6] solutions: red for vine and blue for green cover: (b) shows data measures of non consociated components: vine (red) and green cover (blue).

Figura 2. Curvas de crecimiento de los componentes del sistema vs. tiempo (en días): consociadas (a) y sin consociar (b). **Figure 2.** Growth curves of the system components vs. time (days): consociated (a) and non consociated (b).

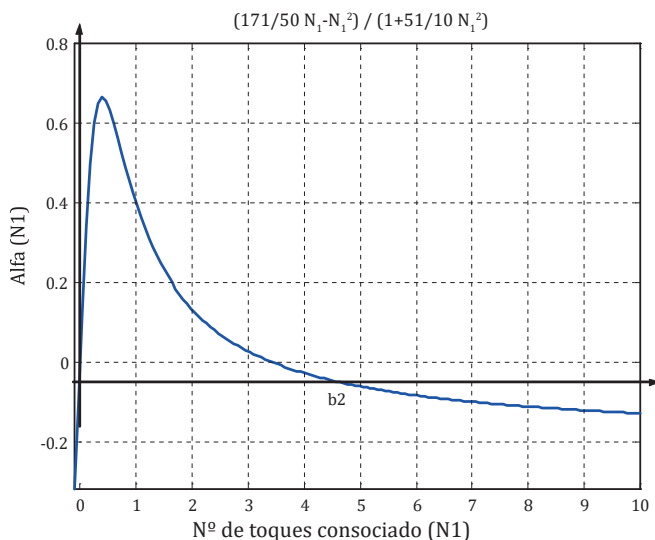


Figura 3. Alfa-función. Se observa cambio de signo en el valor de vid $b_2 = 3,42$.

Figure 3. Alfa-function. Change of sign is observed at the vid value $b_2 = 3.42$.

CONCLUSIONES

En concordancia con las hipótesis que plantean la existencia de interacción biológica entre la vid y el cultivo de cobertura y que esta interacción cambia a partir de un valor umbral de biomasa de la vid, los resultados del análisis estadístico permiten concluir que durante el período de estudio la presencia del cultivo de cobertura no afectaría la tasa de crecimiento de la vid, sugiriendo una posible indiferencia de esta respecto del cultivo de cobertura.

La tasa de crecimiento del cultivo de cobertura es mayor en presencia de la vid, lo que indicaría un posible efecto facilitador de la vid sobre el cultivo de cobertura en una primera etapa (tabla 1, pág. 39).

En el estudio del sistema dinámico se observa un cambio en la interacción biológica de comensalismo a amensalismo, evidenciado por el cambio de

signo de la alfa-función (de positivo a negativo) que se produce para el valor umbral de biomasa de vid $b_2 = 3,42$.

El análisis de estabilidad registra que hay un único punto de equilibrio, (24,638;5,641), en el cual las especies coexisten. El análisis de estabilidad determina que este es un punto de equilibrio estable (figura 1, pág. 41).

El hecho de que la capacidad de carga de la vid se haya mantenido sin cambios durante el ensayo, es equivalente a asegurar que la vid es indiferente a la presencia del cultivo de cobertura. Esto sugiere que el cultivo de cobertura no produce mermas en la producción de biomasa de la vid.

Si bien, mucho se ha estudiado del efecto que las pasturas producen sobre la vid, y viceversa, no se han encontrado trabajos que presenten conclusiones de

los efectos que sufren ambas al estar consociadas, y es ahí donde cobra amplia importancia el presente trabajo. Para que esta modelación se convierta en una herramienta eficiente es preciso realizar

más estudios que permitan expandir el marco de datos de las componentes consideradas abarcando otras variedades de vid y coberturas vegetales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Addicott, J. F. 1981. Stability properties of 2-species models of mutualism: simulation studies. *Oecologia*. 49: 42-49.
2. Gillman, M.; Hails, R. 1997. An introduction to ecological modelling: putting practice into theory. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
3. Goodall, D. W. 1952. Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. *Aust. J. Sci. Re., Ser. B*. 5: 1-41.
4. Hernández, M. J. 1998. Dynamics of transitions between population interactions: a nonlinear interaction alpha-function defined. *Proc. R. Soc. Lond. Londres*. 265(1404): 1433-1440.
5. Hernández, M. J.; Barradas, I. 2003. Variation in the outcome of population interactions: bifurcations and catastrophes. *J. Math. Biol.* 46: 571-594.
6. Jonasson, S. 1988. Evaluation of the point intercept method for the estimation of plant biomass. *Oikos* 52. 101-106.
7. Lotka, A. J. 1910. Contribution to the Theory of Periodic Reaction. *J. Phys. Chem.* 14(3): 271-274.
8. May, R. M. 1981. Segunda Edición. Models for two interacting populations. In *Theoretical ecology: principles and applications*. Ed. R.M. May. Oxford: Blackwell Science. 78-104.
9. Miller, P. R.; Williams, W. L.; Madson, B. A. 1996. Covercrops for California Agriculture. División de Agricultura y Recursos Naturales. Folleto 21510.
10. Miriti, M. N. 2006. Ontogenetic shift from facilitation to competition in a desert shrub. *J Ecol* 94:973-979. doi: 10.1111/j.1365-2745.2006.01138.x.
11. Olmstead, M. 2012. Cover crops for arid areas. Universidad de Florida.
12. Perko, L. 1991. *Differential Equations and Dynamical Systems*. Springer-Verlag. Chapter 2.
13. Polking J.; Arnold, D. 2002. Software pplane.jar - Department of Mathematics, Rice University, Houston, TX. Disponible en: <http://math.rice.edu/~dfield/index.html>.
14. R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org/>.
15. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Cultivos%20de%20cobertera.pdf>
16. Soetaert, K.; Petzoldt, T.; Setzer, W. 2010. Solving Differential Equations in R. Package de Solve *Journal of Statistical Software*. 33(9): 1-25. Disponible en: <http://www.jstatsoft.org/v33/i09/>.
17. Stata Corp. 2000. *Stata Statistical Software: Release 6*. College Station, TX: Stata Corp L P.
18. Strogatz, S. H. 1994. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Perseus Books L. L. C. Chapters 5 and 6.
19. Uliarte, E. M.; Schultz, H. R.; Frings, C.; Pfster, M.; Parera, C.; del Monte, R. 2013. Seasonal dynamics of CO₂ balance and water consumption of C₃ and C₄-type cover crops compared to bare soil in a suitability study for their use in vineyards in Germany and Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology*. 181: 1-16.
20. Uliarte, E. M. 2013. Especies herbáceas nativas: aportes para su cultivo como coberturas vegetales en viñedos bajo riego en Mendoza: estudios de intercambio gaseoso, eficiencia hídrica y potencial alelopático de lixiviados. Repositorio digital UNC. Tesis doctoral. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1651>.

21. Uliarte, E. M.; Parera, C.; Alessandria, E.; Dalmasso, A. 2014. Intercambio gaseoso y eficiencia en el uso del agua de cultivos de cobertura con especies nativas (Mendoza, Argentina), exóticas cultivadas y malezas. *AgriScientia*. 31(2): 49-61.
22. Volterra, V. 1925. Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specieanimaliconviventi, *Mem. Acad. Lincei Roma*. 2: 31-113.
23. Wolin, C. L.; Lawlor, L. 1984. R. Models of facultative mutualism: density effects. *Am. Nat.* 124: 843-862.

Evaluación de crecimiento, rendimiento y calorimetría de biomasa de *Miscanthus x giganteus* (Poaceae) establecido en el centro-sur de Chile

Evaluation of growth, yield and calorific value of *Miscanthus x giganteus* (Poaceae) biomass established in south central of Chile

Fernando Muñoz ¹, Jorge Cancino ¹, Roque Rodríguez ², Rodrigo Olave ³

Originales: *Recepción: 06/05/2016 - Aceptación: 18/10/2016*

RESUMEN

Se establecieron cultivos experimentales de *Miscanthus x giganteus* en tres sitios contrastantes del centro-sur de Chile para evaluar su crecimiento y potencial energético. Al segundo año de crecimiento el cultivo presentó grandes diferencias entre sitios, altura (52,1 a 158,2 cm), rendimiento en biomasa (1,1 a 9,0 Mg ha⁻¹), contenido de cenizas (3,8 a 9,6%) y poder calorífico (16,64 a 18,14 MJ kg⁻¹). La composición química de la biomasa indicó celulosa en un 36%, hemicelulosa con 22,3% y lignina con 26,9%. El análisis elemental indicó 41,9% de C y 6,6% de H. *Miscanthus x giganteus* presenta condiciones para su utilización en la generación de energía en Chile.

Palabras clave

biomasa • dendroenergía • cultivos dendroenergéticos • energía renovable

1 Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Victoria 631. Concepción. Chile. fmunoz@udec.cl

2 Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Técnica Superior de Lugo. España.

3 Agri-Food & Biosciences Institute. Northern Ireland. United Kingdom.

ABSTRACT

Experimental crops of *Miscanthus x giganteus* were planted in three contrasting sites in Chile's south central to evaluate its growth and energy potential. In the second year of growth, the crop exhibited large differences among sites regarding height (52.1 to 158.2 cm), biomass yield (1.1 to 9.0 Mg ha⁻¹), ash content (3.8 to 9.6%) and calorific value (16.64 to 18.14 MJ kg⁻¹). The chemical composition of the biomass indicated cellulose 36%, hemicellulose 22.3% and lignin 26.9%. Elemental analysis indicated C and H content of 41.9% and 6.6% respectively. Therefore, *Miscanthus x giganteus* offers suitable attributes to be used for energy generation in Chile.

Keywords

biomass • wood energy • crops for wood energy • renewable energy

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica en Chile desde fuentes renovables corresponde solo al 11,4% de la capacidad eléctrica total (7). Una alternativa para incrementar la producción de energía renovable es utilizar biomasa a partir de cultivos dendroenergéticos, creando también, oportunidades para reducir el abandono paulatino de cultivos tradicionales, mejorar el uso de terrenos subutilizados y ocupar superficies forestales abandonadas (33).

Entre las especies posibles de utilizar para producir biomasa se encuentra *Miscanthus x giganteus* J. M. Greef & Deuter ex Hodk. & Renvoize, la cual ha sido ampliamente cultivada en Europa como fuente de bioenergía por más de 30 años (30) en diferentes condiciones de sitio (1).

Miscanthus x giganteus es una gramínea perenne que posee características adecuadas para producir biomasa para energía, ya que, entre otras, almacena carbono en el suelo, no es invasiva debido a que es un híbrido que no produce semillas viables (1, 5) y su propagación es solo vegetativa (23), tiene alta eficiencia en el uso del agua y bajo requerimiento

de fertilizantes. En una misma superficie produce más etanol que el producido por cultivos de maíz y pasto varilla (switchgrass) (*Panicum virgatum* L.) (15) y además, *Miscanthus* presenta una razón energética (salida de energía/entrada de energía) mayor (47,3) que otros cultivos como maíz utilizado en la producción de biocombustibles (5,5) (12).

El género *Miscanthus* pertenece a la familia *Poaceae* con alrededor de 14 especies (30), la mayoría originarias del este de Asia.

Miscanthus x giganteus es un híbrido estéril (triploide) producto del cruzamiento entre *M. sinensis* (diploide) y *M. sacchariflorus* (tetraploide) (1, 16), que se cree ocurrió en forma natural debido a que en su hábitat ocurre con frecuencia hibridación entre especies de *Miscanthus* (21). Esta planta es de interés para los productores, ya que puede ser utilizada como fuente de biocombustible o celulosa (34), también como fijadora de nitrógeno (19) y para su uso en biorremediación (38).

El rendimiento de biomasa depende de varios factores, incluyendo el genotipo y nutrición (20), edad de corta (2, 8) y

condiciones de sitio (24, 28). Un gran número de genotipos del género han sido estudiados y *Miscanthus x giganteus* tiene gran potencial de producción de biomasa comparado con otros genotipos y además, no es invasivo (5).

Miscanthus ha demostrado ser excepcionalmente productivo en ensayos en el centro-oeste de Estados Unidos, incluso mejor que la especie perenne tolerante al frío C4 "pasto varilla" o "switchgrass" (*Panicum virgatum*) (15). Al ser una planta C4, se caracteriza por una alta absorción de CO₂ y bajo consumo de agua (26), crece rápidamente y produce altos rendimientos anuales de biomasa (23).

En Irlanda, el rendimiento de la especie al primer año de establecimiento es de 1-2 Mg ha⁻¹, al segundo año entre 4-10 Mg ha⁻¹ y al tercer año entre 10-13 Mg ha⁻¹ o más (6).

Miscanthus es un cultivo lignocelulósico que ha sido ampliamente investigado como posible materia prima para papel, energía, materiales de construcción, geotextiles y sustratos en viveros e invernaderos (23), e incluso en la producción de combustible líquido (5). Del mismo modo, la sacarificación de la biomasa de *Miscanthus* ha sido reconocida como una fuente de azúcares mixtos de bajo costo, con uso potencial para la fermentación a etanol, combustible o productos químicos (38). Sin embargo, su principal uso es la producción de energía, siendo considerado una excelente especie para estos fines (13).

El poder calorífico superior anhidro de *Miscanthus* es alrededor de 17 MJ kg⁻¹, pudiendo alcanzar 20 MJ kg⁻¹ (5), con 2,7% de contenido de cenizas; ha sido utilizado en co-combustión con carbón y en calderas de producción de vapor (38).

En Chile no hay experiencia en la producción de biomasa de *Miscanthus* para uso en la generación de energía. La presente investigación tiene por objetivo

introducir y establecer cultivos experimentales de *Miscanthus x giganteus* en tres sitios del centro-sur de Chile, para evaluar su crecimiento, rendimiento en biomasa, características energéticas y composición química durante sus dos primeros años de desarrollo.

La necesidad de conocer la variación del crecimiento de la especie según diferente condición climática, edáfica y material genético, lleva a definir la siguiente hipótesis: la respuesta de crecimiento y calidad de biomasa para energía de clones de *Miscanthus x giganteus* presenta interacción genotipo-ambiente. Para ello, el estudio comprende evaluar el comportamiento de la especie en sitios contrastantes (zonas agroclimáticas diferentes) ubicados en el valle central y sector costero de la zona centro-sur de Chile.

METODOLOGÍA

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en tres sitios del centro-sur de Chile, *i.e.* El Vergel, La Isla y Trehualemu. El sitio El Vergel (36°50'30" S y 72°54'26" O) se ubica en la comuna de Concepción, Región del Biobío. Pertenece a la zona agroclimática del secano costero (10), de clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses, entre noviembre y marzo. Posee una temperatura promedio anual de 12,2°C con máximas y mínimas en el período estival de 22,8°C y 8,9°C e invernal 12,9°C y 5,1°C (10).

La precipitación media anual es de 1196 mm y la evapotranspiración potencial de 660 mm (10). El suelo, con una pendiente general de 30%, corresponde a la serie Treguaco (TG); son suelos profundos del tipo Inceptisol, formados a partir de rocas metamórficas, de textura franco arcillo limosa en todo el perfil.

El sitio La Isla (36°44'12" S y 72°26'49" O) se ubica en la comuna de Quillón, Región del Biobío. Pertenece a la zona agroclimática del valle central, de clima mediterráneo templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses, entre noviembre y marzo. Posee una temperatura promedio anual de 13,5°C con máxima y mínima en el período estival de 28,0°C y 10,9°C e invernal 12,3°C y 3,7°C, respectivamente (10).

La precipitación media anual es de 1055 mm y evapotranspiración potencial de 846 mm (10). El suelo, de pendiente general entre 0% y 3%, corresponde a la serie Llahuecuy (LHY); son suelos profundos, bien drenados del tipo Entisol (29).

El sitio Trehualemu (35°58'29" S y 72°45'8" O) está ubicado en la comuna de Pelluhue, Región del Maule. El sitio pertenece a la zona agroclimática del secano costero, de clima templado cálido con estación seca de 4 a 6 meses, entre octubre y marzo. Posee una temperatura promedio anual de 14,1°C con máximas y mínimas en el período estival de 24,4°C y 12,0°C e invernal 14,6°C y 6,0°C, respectivamente (10).

La precipitación media anual es de 898 mm y la evapotranspiración potencial de 720 mm, con vientos predominantes en la época de otoño e invierno de dirección NE del Pacífico (10). El suelo, de pendiente general entre 5% y 8%, corresponde a la serie Cobquecura (CBC); son suelos profundos, sedimentarios, de textura franco arcillo limosa, que pertenecen al tipo Inceptisol (29).

Material vegetal y establecimiento

El material vegetal utilizado fueron rizomas de *Miscanthus x giganteus* (clon "Picoplant", Oldenburg, Alemania)

importados desde la Universidad de Catania, Italia y de la Universidad de Santiago de Compostela, España (clon "Hornum", Hornum, Dinamarca).

El establecimiento de los ensayos consistió en la delimitación del área de estudio, preparación del suelo y siembra de los rizomas de *Miscanthus x giganteus*, en adelante *Miscanthus*.

La delimitación del área de estudio, i.e. instalación de cerco perimetral con malla cuadrada galvanizada, se realizó con el fin de impedir el ingreso de animales domésticos que pudieran causar daños a las plantas.

La preparación del suelo, incluyó subsolado mecanizado hasta los 80 cm de profundidad, con 2 m de distancia entre líneas de subsolado, y control químico de malezas con herbicida sin efecto residual.

En cada sitio del ensayo, en octubre de 2011, se sembraron los rizomas de *Miscanthus* en áreas de tamaño 20 x 20 cm y 10 cm de profundidad ubicadas en la línea de subsolado. Al área rectangular correspondiente a cada rizoma en adelante se le menciona como "casilla". Antes de depositar el rizoma en la casilla, se incorporó al suelo 2 g de hidrocapturador y 1 litro de agua.

Luego de sembrar el rizoma se cubrió con una capa de suelo de 5 a 8 cm. Después de la plantación y hasta abril de 2012, se efectuó riego semanal de 1 litro de agua por planta. Un mes después de la siembra se realizó una aplicación de fertilizantes (8) compuesta por una mezcla de fosfato diamónico (100 g), sulfato doble de potasio y magnesio (Sulpomag®, 50 g) y boronatrocalcita (25 g), la cual se aplicó en una pequeña zanja de 10-15 cm de profundidad a una distancia de 30-40 cm de la planta.

Diseño experimental y parcelas de medición

En cada sitio, el ensayo consistió en un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial, con cada factor, *i.e.* genotipo y densidad de siembra, en dos niveles y tres repeticiones.

Se evaluó la densidad de siembra de 20.000 y 40.000 brotes ha⁻¹ y el efecto de dos clones de *Miscanthus*, *i.e.* "Picoplant" y "Hornum"; en lo que sigue de este artículo, esos niveles son denominados D1 y D2 para el factor densidad, y M1 y M2 para el factor genotipo, respectivamente.

La unidad experimental consistió en una parcela cuadrada de 25 m² (5 x 5 m). Ambas densidades de siembra D1 y D2 presentaron 24 rizomas (para igual número de casillas) por parcela, con un espaciamiento de 0,625 m sobre la línea de siembra y 1,667 m entre cada línea.

Previo a la siembra se clasificaron visualmente los rizomas de acuerdo con la cantidad de yemas que poseían. Para lograr la densidad D1 se utilizaron rizomas con una cantidad de yemas por rizoma menor a 4, en tanto que para la densidad D2 se utilizaron aquellos rizomas cuya cantidad de yemas era mayor o igual a 4.

Las parcelas de medición se ubicaron en el centro de cada parcela y fueron delimitadas por un área de borde equivalente a una línea de siembra de rizomas a cada lado de la parcela. Así, las parcelas de medición en ambas densidades D1 y D2 fueron de 6,25 m², *i.e.* conteniendo cada una 6 rizomas.

Mediciones y determinaciones realizadas

Para evaluar el crecimiento se midió la altura total (con huincha de medir) y se contabilizó la cantidad de brotes por rizoma en cada unidad experimental.

El registro de las variables se realizó en el mes de abril de cada período: año 2011-2012 (primera rotación) y año 2012-2013 (segunda rotación). Esta actividad, al igual que los resultados que se presentan, solo corresponde al clon "Picoplant", debido a que la siembra del clon "Hornum" no generó prácticamente ninguna planta.

La determinación de la biomasa consistió en un muestreo destructivo de las plantas de *Miscanthus* al final de cada rotación. En cada una de las unidades experimentales se seleccionó cinco casillas como muestra de biomasa para la determinación de peso verde y posterior transporte al laboratorio para su secado en estufa (105°C) hasta peso constante.

El resto de las plantas fueron cortadas y pesadas para obtener el peso verde en terreno. La determinación de la biomasa total por unidad experimental se realizó utilizando la razón de peso seco/peso fresco [1] y peso verde de la parcela [2] (14).

$$\gamma_{sv} = \frac{\sum_{i=1}^n W_{si}}{\sum_{i=1}^n W_{vi}} \quad [1]$$

donde:

γ_{sv} = la razón de peso seco/peso fresco por unidad experimental

W_{si} = peso seco de la *i*-ésima muestra

W_{vi} = peso fresco de la *i*-ésima muestra

n = el tamaño de la muestra seleccionada para la determinación de la razón peso seco/peso fresco por unidad experimental.

$$W_s = \gamma_{sv} * \sum w_v \quad [2]$$

donde:

W_s = peso seco estimado en la unidad experimental en g

w_v = peso fresco de la unidad experimental obtenido en terreno en g

γ_{sv} = Razón de peso seco/peso fresco de la muestra por unidad experimental.

Contenido de cenizas, calorimetría, análisis elemental y composición química

Se tomaron tres muestras de biomasa de cada densidad de cultivo en cada sitio de ensayo de 100 g cada una, las cuales se secaron en estufa (105°C) hasta peso constante y luego se trituraron en un molino hasta un tamaño al menos de 0,2 mm.

Para la determinación del contenido de cenizas tres submuestras de 1 g fueron seleccionadas, las cuales fueron sometidas a 550°C en horno hasta su calcinación. Para la determinación del poder calorífico superior (PCS) se utilizó tres submuestras de 1 g estabilizadas al aire, y luego combustionadas con exceso de oxígeno en una bomba calorimétrica, modelo PARR 6400. Los análisis se efectuaron de acuerdo con las normas españolas de biocombustibles sólidos (36, 37).

El análisis elemental y determinación de la composición química se realizó sobre una mezcla homogénea de la biomasa de las densidades por cada sitio. De esta mezcla se obtuvo dos submuestras de 1 g, para determinar el contenido total de carbono (C), hidrógeno (H) y azufre (S), en un analizador elemental FISONs, modelo EA 1108, siguiendo la norma indicada en el manual del equipo.

La composición química (celulosa, hemicelulosa, lignina, grupo acetilo) se realizó de acuerdo con la norma Tappi 222 om 98 y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Las muestras utilizadas correspondieron a la cosecha (realizada en abril) de la segunda rotación (año 2012-2013).

Análisis estadístico

Todas las variables medidas durante los dos primeros años fueron sometidas a pruebas para determinar su normalidad y homogeneidad de varianzas.

Posteriormente se realizó análisis de varianza para determinar el efecto del sitio, del bloque jerarquizado al sitio, de la densidad de siembra y su interacción.

La clasificación de medias, cuando correspondía, se realizó mediante la prueba de Tukey (35). No se realizó análisis estadístico de la composición química de la biomasa debido al reducido número de muestras. En el proceso de datos se utilizó el programa estadístico SPSS 15.0.

RESULTADOS

Crecimiento

La cantidad de brotes incrementa con el transcurso del tiempo. En ningún año de cultivo hubo interacción entre sitio y densidad (tabla 1, pág. 53). Independientemente de la densidad, Trehualemu es el sitio con menor cantidad de brotes (tabla 2, pág. 53).

El sitio El Vergel presentó la cantidad más alta de brotes, seguido de La Isla y luego Trehualemu. En el segundo año de cultivo no se detectó diferencias significativas entre la cantidad de brotes de los diferentes sitios (tabla 2, pág. 53).

El incremento en altura varió con la edad del cultivo. En el primer año de cultivo, no hubo interacción entre sitio y densidad y solo se detectó efecto significativo de sitio ($p < 0,0034$) (tabla 1, pág. 53).

El Vergel es el sitio de mayor incremento en altura; los otros dos sitios tienen incrementos que no difieren significativamente.

En el segundo año de cultivo, se observó interacción significativa entre sitio y densidad ($p < 0,0001$); en El Vergel, el mayor incremento en altura se observó en la densidad más alta de cultivo (D2), al contrario de lo que se observó en La Isla; en Trehualemu no se observaron diferencias significativas entre densidades (tabla 2, pág. 53).

Tabla 1. Significancia de factores principales en las variables número de brotes, altura, biomasa, contenido de cenizas y poder calorífico de *Miscanthus x giganteus*, clon Picoplant, al primer y segundo período de crecimiento (año 1: 2011-2012 y año 2: 2012-2013).

Table 1. Significance of main factors in variables number of shoots, height, biomass, ash content and calorific value of *Miscanthus x giganteus*, Picoplant clone, at first and second growth period (year 1: 2011-2012 and year 2: 2012-2013).

Factores	Cantidad de brotes		Altura		Biomasa		Contenido cenizas		Poder calorífico superior	
	año 1	año 2	año 1	año 2	año 1	año 2	año 1	año 2	año 1	año 2
Sitio	<0,0001	0,0397	0,0034	0,0001	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	0,0250
Bloque (Sitio)	0,5926	0,2155	0,6089	0,0570	0,0321	0,6715	-	0,1299	-	0,5732
Densidad	0,0299	0,0540	0,1130	0,5350	0,0015	0,0403	-	<0,0001	-	0,0398
Sitio x Densidad	0,8003	0,4703	0,2797	0,0034	0,0035	0,2793	-	<0,0001	-	0,3015

Tabla 2. Valores medios del número de brotes, altura, biomasa, contenido de cenizas y poder calorífico de *Miscanthus x giganteus*, clon Picoplant, al primer y segundo período de crecimiento (año 1: 2011-2012 y año 2: 2012-2013).

Table 2. Average values for the number of shoots, height, biomass, ash content and calorific value of *Miscanthus x giganteus*, Picoplant clone, at first and second growth period (year 1: 2011-2012 and year 2: 2012-2013).

Período de crecimiento	Año 1 ⁽¹⁾			Año 2 ⁽¹⁾		
	El Vergel	La Isla	Trehualemu	El Vergel	La Isla	Trehualemu
Sitio	Cantidad de brotes, N° ha⁻¹					
Densidad	20000	110,310 Aa	89,131 Aa	24,615 Ab	316,444 Aa	373,334 Aa
	40000	130,134 Aa	100,599 Aa	37,995 Ab	541,926 Aa	449,482 Aa
Densidad	Altura, cm					
	20000	88,13 Aa	58,75 Aa	63,57 Aa	110,70 Ba	85,77 Aab
40000	115,74 Aa	60,29 Ab	69,84 Ab	158,19 Aa	52,08 Bb	64,29 Ab
Densidad	Biomasa, Mg ha⁻¹					
	20000	0,204 Ba	0,122 Ba	0,031 Bb	6,560 Aa	2,040 Ab
40000	0,369 Aa	0,136 Bb	0,051 Bc	9,014 Aa	2,469 Ab	2,042 Ab
Densidad	Contenido de cenizas, %					
	20000	-	-	-	3,80 Bc	5,40 Bb
40000	-	-	-	4,64 Ac	7,40 Ab	9,60 Aa
Densidad	Poder calorífico superior, MJ kg⁻¹					
	20000	-	-	-	17,65 Aa	17,12 Aa
40000	-	-	-	17,83 Aa	18,14 Aa	17,06 Aa

(1) Letras mayúsculas para comparar verticalmente entre densidades dentro de cada sitio; letras minúsculas para comparar horizontalmente entre sitios dentro de cada densidad; letras diferentes señalan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$).

(1) Capital letter to vertically compare between densities within each site; small letters to horizontal compare between sites within each density; different letters indicate significant differences ($\alpha = 0,05$).

En la densidad D1, el incremento en altura en El Vergel es igual al de La Isla, pero superior al de Trehualemu; en la densidad D2, el incremento en altura en El Vergel es superior al de los otros dos sitios (tabla 2, pág. 53).

Biomasa

El rendimiento en biomasa varió con la edad del cultivo (tabla 1, pág. 51).

En el primer año de cultivo, se observó interacción entre sitio y densidad ($p < 0,0001$); en la densidad D1 no se observó diferencias significativas en biomasa entre sitios; en la densidad D2, el rendimiento en biomasa de todos los sitios difiere significativamente; la mayor cantidad de biomasa se observó en El Vergel, seguido de La Isla y luego Trehualemu (tabla 2, pág. 53).

En el segundo año de cultivo, no hubo interacción entre sitio y densidad y solo se detectó efecto significativo de sitio ($p < 0,0001$) (tabla 1, pág. 53). Independientemente de la densidad de establecimiento, El Vergel es el sitio de mayor incremento en biomasa; los otros dos sitios tienen incrementos que no difieren significativamente (tabla 2, pág. 53).

Cenizas y poder calorífico superior

La cantidad de cenizas es afectada por la interacción entre sitio y densidad (tabla 1, pág. 53).

En general, a mayor densidad del cultivo mayor es la cantidad de cenizas; la magnitud de la diferencia varió entre sitios; la mayor diferencia entre densidades se detectó en La Isla.

Todos los sitios difieren significativamente en la cantidad de cenizas; la biomasa de Trehualemu es la que genera la mayor cantidad de cenizas, seguido de la Isla y luego El Vergel (tabla 2, pág. 53).

En cuanto al Poder Calorífico Superior (PCS) solo se detectó diferencias significativas entre El Vergel y Trehualemu, siendo este último sitio el de menor PCS; no se detectó efecto de la densidad ni interacción de esta con el sitio (tabla 1, pág. 53).

Composición química y análisis elemental

Para los tres sitios, la composición química de la biomasa indica que celulosa representa la mayor participación de la materia seca, seguido de lignina y hemicelulosa (tabla 3, pág. 55).

La biomasa producida en el sitio El Vergel presenta la mayor proporción de celulosa y el sitio Trehualemu la mayor proporción de lignina. El análisis elemental de la biomasa señala que la mayor proporción corresponde a C (tabla 3, pág. 55). Los valores de C e H son similares entre sitios.

DISCUSIÓN

Crecimiento

Existe diferencia de crecimiento (cantidad de brotes y altura) entre sitios. El sitio El Vergel alcanza el mejor crecimiento del cultivo y el menor en el sitio Trehualemu (tabla 2, pág. 53). Ambos sitios se localizan en la cordillera de la costa y son del tipo Inceptisol (29), aunque de diferente precipitación media anual, 1196 mm y 898 mm, respectivamente.

Se conoce que las características del sitio afectan la productividad del cultivo de *Miscanthus*, especialmente la disponibilidad de agua en la obtención de rendimientos satisfactorios (28).

Tabla 3. Composición química y análisis elemental de la biomasa de *Miscanthus x giganteus*.**Table 3.** Chemical composition and elemental analysis of *Miscanthus x giganteus* biomass.

Sitio (1)	Celulosa	HC	Lignina	Grupo acetilo	Otros	C	H	N	S (2)
	% peso seco					% peso seco			
El Vergel	38,1	24,2	26,7	2,4	8,6	41,7	6,9	N.D.	< 2
La Isla	33,8	22,8	26,9	2,0	14,5	42,9	6,6	N.D.	< 2
Trehualemu	36,0	19,9	27,3	2,6	14,2	41,1	6,4	N.D.	< 2
Promedio	36,0	22,3	26,9	2,3	12,5	41,9	6,6	N.D.	

(1) Mezcla de biomasa de las densidades 20.000 y 40.000 brotes ha⁻¹, (2) resultado no detectable, se informa límite de la detección. HC: Hemicelulosa, C: Carbono, H: Hidrógeno, N: Nitrógeno, S: Azufre. N.D.: No disponible.

(1) Biomass mix of densities 20,000 and 40,000 shoots ha⁻¹, (2) not detectable result, it's reported the detection limit. HC: Hemicellulose, C: Carbon, H: Hydrogen, N: Nitrogen, S: Sulfur. N.D.: Not available.

Similar tendencia se aprecia en esta investigación, donde el sitio Trehualemu, de menor precipitación, presenta prácticamente la mitad del número de brotes y altura que el sitio El Vergel; 189.259 brotes y 66,75 cm, 316.444 brotes y 110,7 cm, respectivamente (tabla 2, pág. 53).

La cantidad de brotes se encuentra en línea con lo reportado por la literatura. Para la densidad de plantación 20.000 brotes ha⁻¹ el número de brotes que alcanza el cultivo en este estudio (316.444 brotes ha⁻¹, tabla 2, pág. 53) es similar al reportado (9), en cambio, la altura del cultivo en este estudio es menor a lo señalado por los mismos autores, aunque esto podría cambiar en los próximos años debido a que el crecimiento anual del cultivo se incrementa hasta alcanzar su óptimo alrededor de 7 a 10 años luego de establecido, para luego declinar y permanecer relativamente constante (2, 9, 20).

También podría cambiar debido a que las diferencias iniciales tienden a disminuir con el desarrollo del cultivo. Cultivos de *Miscanthus* establecidos en Austria de densidades iniciales entre 10.000 y 30.000 brotes ha⁻¹ alcanzaron similar altura al cabo de tres años de establecidos (9). Donde

ocurre una clara diferencia es en los sitios de menor calidad, como La Isla, donde la altura es de 85,77 cm para D1 y 52,08 cm para D2 (tabla 2, pág. 53), es decir una diferencia de 65%. Esto indica que en sitios de menor calidad no es posible establecer altas densidades iniciales sin afectar el crecimiento en altura del cultivo, variable que es indicadora del rendimiento del cultivo (18).

También hay que considerar la sobrevivencia y desarrollo inicial de los brotes. Al relacionar la cantidad de brotes luego del primer año del cultivo y la densidad inicial establecida, se tiene que fluctúa entre 1,0 brote y 5,5 brotes por cada brote establecido en el sitio Trehualemu y El Vergel, respectivamente (tabla 2, pág. 53). Es decir, en sitios de buena calidad la sobrevivencia y su posterior desarrollo fue mejor. Estudios reportados (17, 27) indican que la sobrevivencia es variada y fluctúa entre el 50 y 95%, dependiendo de las condiciones del sitio. La guía de mejores prácticas para cultivo de *Miscanthus* en Irlanda sugiere establecer 16.000 rizomas ha⁻¹ para esperar una emergencia de 10.000 plantas ha⁻¹ (6), es decir, se asume una sobrevivencia de 62,5%.

Rendimiento inicial en biomasa

La mayor producción ocurre en el sitio El Vergel, en sus dos densidades (D1 y D2), con diferencias significativas con respecto de la producción alcanzada en los otros sitios.

El mayor rendimiento para el primer período de crecimiento es de 0,369 Mg ha⁻¹ y para el segundo de 9,014 Mg ha⁻¹ (tabla 2, pág. 53) (biomasa cosechada al término del primer mes de otoño).

Los resultados indican que las características del sitio afectaron el desarrollo del cultivo, situación también observada en ensayos establecidos en la costa central de Italia, donde se obtuvo rendimiento en biomasa entre 5 y 29 Mg ha⁻¹ (28) y en ensayos en Alemania con variación entre 0,5 y 13,7 Mg ha⁻¹ (32). También afecta el rendimiento la edad del cultivo, tal como lo señalan estudios desarrollados en Dinamarca, donde se determinó que el rendimiento promedio para un período de 20 años fue de 13,1 Mg ha⁻¹ con incremento durante los primeros años hasta alcanzar el óptimo entre los 7 a 8 años, para luego decrecer y permanecer relativamente constante (20).

Similar situación en EEUU donde el promedio de rendimiento de biomasa en diferentes localidades durante 8 a 10 años fue de 23,4 Mg ha⁻¹, variando entre los diferentes sitios entre 14,7 y 31,1 Mg ha⁻¹ (2). También la época de cosecha del cultivo afecta el rendimiento en biomasa.

Las cosechas realizadas en otoño presentan mayor rendimiento que las realizadas en invierno (24), con disminución de hasta 40% al atrasar la cosecha de otoño a invierno (28). De acuerdo con esto, es de esperar que el cultivo logre mayores rendimientos cuando alcance su óptimo de crecimiento alrededor de los 7 a 8 años (20).

En general, la densidad inicial de establecimiento del cultivo no influyó

en el rendimiento en las primeras dos etapas del cultivo. Estudios con densidades iniciales de 10.000, 20.000 y 30.000 brotes ha⁻¹ determinaron que el efecto de la densidad inicial es insignificante en el rendimiento luego de cuatro años de crecimiento (9). De acuerdo con esto, es razonable sugerir una densidad inicial de 10.000 brotes ha⁻¹ (1 planta m⁻²) evitando costos excesivos en el establecimiento. Esta densidad también ha sido utilizada para estudiar rendimiento de *Miscanthus* en el medio oeste de EE.UU. (2), y se sugiere para cultivos en Illinois (EE.UU.) (27) y en Irlanda (6).

Contenido de cenizas

El contenido de cenizas varía entre sitios y densidades de establecimiento (tabla 2, pág. 53). En este estudio, el contenido de cenizas es más alto a mayor densidad de establecimiento y menor productividad del sitio.

El contenido de cenizas puede variar de acuerdo con la época de cosecha (3, 24), partición de la biomasa del cultivo (25) y su genotipo (5). Según la partición de biomasa (hoja o caña del cultivo), el contenido de cenizas en las hojas (alrededor del 6%) puede ser hasta tres veces más que lo obtenido en las cañas (3).

El contenido de cenizas obtenido con material cosechado en los sitios La Isla y Trehualemu, es mayor a los reportados por varios autores (3, 25, 38). En cambio, el contenido de cenizas obtenido en El Vergel se encuentra dentro de los rangos (3).

En los tres sitios ensayados se utilizó material del segundo año de crecimiento, cosechado a mediados de abril (primer mes de otoño) cuando la actividad foliar aún no ha cesado, probablemente con una proporción mayor de hojas y por lo tanto, de mayor contenido de cenizas.

Calorimetría

El PCS varió según sitio y densidad de establecimiento. Diversos estudios indican que el PCS fluctúa entre 18 y 20 MJ kg⁻¹ (4, 31), entre 18,2 y 18,7 MJ kg⁻¹ (19) y entre 16,7 y 17,3 MJ kg⁻¹ (38).

En el presente estudio el PCS varió entre 16,6 y 18,1 MJ kg⁻¹, es decir, los mayores valores obtenidos se ubican en el rango inferior de los reportados (4, 25, 31). Tal como se mencionó, era de esperar que en sitios de buena calidad (caso de El Vergel) la biomasa obtenida presentara mayor proporción de caña que hojas y por lo tanto, mayores valores de PCS. La caña tiene mayor poder calorífico que las hojas, debido a la mayor cantidad de carbono que posee su biomasa (4).

Composición química

En el estudio actual y para los tres sitios, celulosa representa la mayor participación con promedio de 36% de la materia seca, seguido de lignina con 26,9% y hemicelulosa con 22,3% (tabla 3, pág. 55). Los valores de celulosa, hemicelulosa y lignina del presente estudio se encuentran entre los rangos reportados (5, 11, 38).

La biomasa producida en el sitio de buena calidad (El Vergel) presenta la mayor proporción de celulosa (38,1%) y la producida en el sitio de baja calidad (Trehualemu) mayor proporción de lignina (27,3%).

La relación entre composición química de la biomasa y la calidad de sitio se explica porque la composición varía según la partición de la biomasa, siendo celulosa y lignina mayor en cañas y hemicelulosa mayor en hojas (39).

Aunque la composición también puede variar de acuerdo con la época de cosecha. Así, la cosecha en febrero (invierno en el Hemisferio Norte) generalmente conduce

a mayores contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina, para la mayoría de especies de *Miscanthus* (5).

Análisis elemental

La concentración de C e H en la biomasa seca de *Miscanthus* indica que la mayor proporción corresponde a C (41,9%) (tabla 3, pág. 55). El valor de concentración de C se encuentra por debajo de los valores reportados que indican valores de C entre 47,1 a 49,7% (5, 22).

La diferencia de valor puede deberse a diferencias de época de cosecha y partición de la biomasa aérea del cultivo.

La estimación reportada se realizó con biomasa cosechada a fines del invierno (febrero en Hemisferio Norte), en cambio la cosecha de la biomasa utilizada en el presente estudio fue realizada a inicios del otoño (abril en Hemisferio Sur). Diferencia de pocos meses en la época de cosecha, entre diciembre y febrero en el Hemisferio Norte, cambió la participación de las hojas desde 20,8% a 14,8%, respectivamente (22), llegando a pérdidas de biomasa total que puede alcanzar el 35,5% (23). Atrasar la cosecha genera cambios en la partición de la biomasa, lo que implica, aumento proporcional de la caña en el total cosechado, con ello, mayor proporción de carbono (4).

CONCLUSIONES

El establecimiento de cultivos dendroenergéticos de *Miscanthus x giganteus* en tres sitios contrastantes del centro-sur de Chile indica que la especie presenta variaciones significativas de crecimiento. En sectores costeros, de suelos de textura franco-arcillosa-limosa con buena capacidad de retención de humedad, se obtienen los mejores

crecimientos y estos se encuentran en línea con lo reportado por la literatura. De igual manera, los parámetros calorimétricos y características químicas de la biomasa son similares a otros estudios.

Los resultados obtenidos sugieren que *Miscanthus x giganteus* presenta condiciones (rendimiento en biomasa

y en energía) para su utilización en la generación energética. Sin embargo, la relación entre crecimiento del cultivo, calidad de biomasa y condiciones de sitio para el desarrollo de la especie en Chile deben ser evaluadas por un período más extenso, hasta que alcance su máximo crecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson E.; Arundale, R.; Maughan, M.; Oladeinde, A.; Wycislo, A.; Voigt, T. 2011. Growth and agronomy of *Miscanthus x giganteus* for biomass production. *Biofuels*. 2(1): 71-87.
2. Arundale R.; Dohleman, F.; Heaton, E.; McGrath, J.; Voigt, T.; Long, S. 2014. Yields of *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum* decline with stand age in the Midwestern USA. *GCB Bioenergy*. (6): 1-13.
3. Baxter X.; Darvell, L.; Jones, J.; Barraclough, T.; Yates, N.; Shield, I. 2012. Study of *Miscanthus x giganteus* ash composition-Variation with agronomy and assessment method. *Fuel* (95): 50-62.
4. Baxter X.; Darvell, L.; Jones, J.; Barraclough, T.; Yates, N.; Shield, I. 2014. *Miscanthus* combustion properties and variations with *Miscanthus* agronomy. *Fuel*. (117): 851-869.
5. Brosse N.; Dufour, A.; Meng, X.; Sun, Q.; Ragauskas, A. 2012. *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. (6): 580-598.
6. Caslin B.; Finnan, J.; Easson, L. (Eds.). 2010. *Miscanthus* best practice guidelines. Teagasc (Ireland) and Afbi (Agri-Food and Bioscience Institute, Northern Ireland), Ireland - Northern Ireland (UK). 50 p.
7. CIFES 2015. Reportes Cifés: Energías renovables en el mercado eléctrico chileno. Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables (CIFES), Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. 7 p.
8. Christian D.; Riche, A. B.; Yates, N. E. 2008. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus x giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*. (28): 320-327.
9. Clifton-Brown J.; Long, S.; Jorgensen, U. 2001. *Miscanthus* productivity. In: Jones M.B, Walsh M. (Eds.) *Miscanthus* for energy and fibre. Earthscan, London, UK. p: 46-67.
10. Del Pozo, A.; Del Canto, P. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán. Ministerio de Agricultura, Chile. 115 p.
11. de Vrije T.; de Haas, G.; Tan, G.; Keijsers, E.; Claassen, P. 2002. Pretreatment of *Miscanthus* for hydrogen production by Thermotoga elfii. *International Journal of Hydrogen Energy*. (27): 1381-1390.
12. Felten, D.; Fröba, N.; Fries, J.; Emmerling, C. 2013. Energy balances and greenhouse gas-mitigation potentials of bioenergy cropping systems (*Miscanthus*, rapeseed, and maize) based on farming conditions in Western Germany. *Renewable Energy*. (55): 160-174.
13. Feng X.; He, Y.; Fang, J.; Fang, Z.; Jiang, B.; Brancourt-Hulmel, M.; Zheng, B.; Jiang, D. 2015. Comparison of the growth and biomass production of *Miscanthus sinensis*, *Miscanthus floridulus* and *Saccharum arundinaceum*. *Spanish Journal of Agricultural Research* Vol. 13(3).
14. González, O. 2014. Evaluación de crecimiento y rendimiento en biomasa de *Miscanthus x giganteus* en sus primeros años de desarrollo. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile. 44 p.

15. Heaton, E.; Dohleman, F.; Long, S. 2008. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*. (14): 1-15.
16. Hodkinson, T.; Renvoize, S. 2001. Nomenclature of *Miscanthus x giganteus* (Poaceae). *Kew Bulletin*. 56: 759-760.
17. Huisman, S.; Kortleve, W. 1994. Mechanization of crop establishment, harvest and postharvest conservation of *Miscanthus sinensis* *Giganteus*. *Industrial Crops and Products*. (2): 289-297.
18. Iqbal, Y.; Gauder, M.; Claupein, W.; Graeff-Hönninger, S.; Lewandowski, I. 2015. Yield and quality development comparison between miscanthus and switchgrass over a period of 10 years. *Energy*. (89): 268-276.
19. Keymer, D.; Kent, A. 2014. Contribution of nitrogen fixation to first year *Miscanthus x giganteus*. *GCB Bioenergy*. (6): 577-586.
20. Larsen, S. U.; Jørgensen, U.; Kjeldsen, J. B.; Laerke, P. E. 2013. Long-term *Miscanthus* yields influenced by location, genotype, row distance, fertilization and harvest season. *BioEnergy Research*. 7(2): 620-635.
21. Lewandowski, I. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*. (25): 335-361.
22. Lewandowski, I.; Kicherer, A. 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy*. (6): 163-77.
23. Lewandowski, I.; Clifton-Brown, J.; Scurlock, J.; Huisman, W. 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*. (19): 209-227.
24. Lewandowski, I.; Clifton-Brown, J.; Andersson, B.; Basch, G.; Christian, D.; Jørgensen, U.; Jones, M.; Riche, A.; Schwarz, K.; Tayebi, K.; Teixeira, F. 2003. Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agronomy Journal*. (95):1274-1280.
25. Meehan, P.; Finnan, J.; McDonnell, K. 2013. The effect of harvest date and harvest method on the combustion characteristics of *Miscanthus x giganteus*. *GCB Bioenergy*. (5): 487-496.
26. Płazek, A.; Dubert, F. 2010. Improvement of medium for *Miscanthus x giganteus*. Callus induction and plant regeneration. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 52 (1): 105-110.
27. Pyter, R.; Heaton, E.; Dohleman, F.; Voigt, T.; Long, S. 2009. Agronomic experiences with *Miscanthus x giganteus* in Illinois, USA. In: *Biofuels: Methods and protocols*. Mielenz JR (Ed.). Human Press. NY. USA. p. 41-52.
28. Roncucci, N.; Nasso, N.; Bonari, E.; Ragolini, G. 2015. Influence of soil texture and crop management on the productivity of *Miscanthus (Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) in the Mediterranean. *GCB Bioenergy*. (7): 998-1008.
29. Santis, G. 2005. Mapa de reconocimiento de suelos de la región de Biobío (Sector Norte). Memoria de Título. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 178 p.
30. Scally, L.; Hodkinson, T.; Jones, M. 2007. Origins and taxonomy of *Miscanthus*. In: Jones M., Walsh M. (Eds.). *Miscanthus for energy and fibre*. Earthscan. London. UK. p. 1-9.
31. Schwarz, H. 1993. *Miscanthus sinensis* 'giganteus' production on several sites in Austria. *Biomass and Bioenergy*. 5(6): 413-419.
32. Schwarz, K.; Murphy, D.; Schnug, E. 1994. Studies of the growth and yield of *Miscanthus x giganteus* in Germany. *Aspects of Applied Biology*. (40): 533-540.
33. Sixto, H.; Hernández, M.; Barrio, M.; Carrasco, J.; Cañellas, I. 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentación (INIA). Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. 16(3): 277-294.
34. Smith, J. 2009. Antecedentes *Miscanthus*. Documento Técnico N° Doc IIR-BC-INF-12-09. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina. 6 p.
35. Steel, R.; Torrie, J. 1988. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. México DF. México. McGraw-Hill/Interamericana. 622 p.
36. UNE-EN 14775. 2010. Norma Española Biocombustibles Sólidos. Método para la determinación del contenido de cenizas. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid. España. 10 p.

37. UNE-EN 14918. 2011. Norma Española Biocombustibles Sólidos. Determinación del poder calorífico. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid. España. 60 p.
38. Visser, P.; Pignatelli, V. 2001. Utilisation of *Miscanthus*. In: Jones M.B. Walsh M. (Eds.) *Miscanthus* for energy and fibre. Earthscan. London. UK. p. 109-154.
39. Wahid, R.; Frydendal Nielsen, S.; Moset Hernández, V.; James Ward, H.; Gislum, R.; Jorgensen, U.; Bjarne Moller, H. 2015. Methane production potential from *Miscanthus sp*: Effect of harvesting time, genotypes and plant fractions. *Biosystems Engineering*. (133): 71-80.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (Proyecto FONDEF B09i 1008).

El trabajo de la Ingeniera Forestal Cynthia Labraña y de los estudiantes de Ingeniería Forestal de la Universidad de Concepción María Eugenia Hinojosa y Oscar González.

La colaboración de los investigadores Dr. Salvatore Cosentino de la Universidad de Catania (Italia), Dr. Manuel Bao y Dr. Juan Luis Fernández de la Universidad de Santiago de Compostela (España), y del Laboratorio de Micropropagación de la Escuela Politécnica Superior de Lugo de la Universidad de Santiago de Compostela.

Efecto del momento de cosecha sobre la calidad hortícola de tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) conservados a campo y en cámara frigorífica

Harvest time effect on horticultural quality of topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) kept in the soil or in cold storage

Leandra Iburguren, Cecilia Reborá, Marcelo Alberto

Originales: *Recepción:* 01/04/2016 - *Aceptación:* 12/12/2016

RESUMEN

Existen muy pocos antecedentes sobre la conservación de tubérculos de topinambur, así como de las variaciones de calidad que sufre el producto. A través de este trabajo se buscó generar información sobre: a) los efectos de la fecha de cosecha y la variedad de topinambur sobre las variables de calidad; b) la respuesta a la evolución en cámara frigorífica de distintos tratamientos de conservación; y c) la incidencia de las condiciones (cámara frigorífica-campo) y tiempo de almacenamiento sobre la calidad de los tubérculos. Se utilizaron dos variedades de topinambur, la de tubérculos rojos y la de tubérculos blancos. Las variables de calidad medidas fueron: materia seca; sólidos solubles; firmeza; índice de color de peridermis y de pulpa; presencia de brotes; desarrollo de *Penicillium sp.* y evolución del peso fresco. Se detectó que para garantizar la calidad de los tubérculos y una adecuada evolución en cámara frigorífica durante todo el año, el período de cosecha no debería extenderse más allá de los 49 días desde la ocurrencia de la primera helada, para la zona de estudio (Luján de Cuyo, Mendoza, Latitud 33°00' 30" S; Longitud 68°52'32" O). No se observaron diferencias significativas entre variedades. Los datos sugieren que, para consumo en fresco, es posible efectuar la cosecha hasta 98 días posteriores a la primera helada, aunque sobre estos tubérculos no se observó una correcta conservación en cámara frigorífica. Respecto de los efectos del método y tiempo de conservación sobre la calidad de los tubérculos, se observa que los tubérculos que se conservaron a campo más allá de la segunda fecha de medición (30 de agosto), pierden rápidamente su calidad comercial.

Palabras clave

poscosecha • almacenamiento • firmeza • sólidos solubles

1 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Almirante Brown 500. M5528AHB. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. leandra.iburguren@gmail.com

ABSTRACT

There are few papers on Jerusalem artichoke postharvest storage and quality changes. This research aimed to achieve information about: a) the influence of harvest dates and varieties on tuber's quality; b) the evolution of each treatment in cold storage; and c) the conservation periods and places (cold storage-field) effects on tubers quality was studied. Two varieties of Jerusalem artichoke were used, red's tubers and white's tubers. Dry matter; soluble solids; firmness; peridermis and pulp colour; sprouting and *Penicillium* development and fresh weight evolution of tubers were measured. It was found that the harvest period, to maintain the tuber quality and good performance in cold storage during the year, should not extend more than 49 days since the first frost for the study area (Luján de Cuyo, Mendoza, Latitude 33°00'30" S; Longitude 68°52'32" W). Differences between varieties were not observed. The information suggest that, for fresh consumption, tubers must be harvested till 98 days after the first frost, but these tubers are not kept properly refrigerated. Regarding method and time storage effects on tubers' quality, it is observed again that tubers which are keep in field beyond the second measurement date (August 30), quickly lose their commercial quality.

Keywords

postharvest • storage • firmness • soluble solids

INTRODUCCIÓN

Los tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) poseen excelentes aptitudes nutricionales. Entre las ventajas que ofrece su consumo se destaca la presencia de inulina como hidrato de carbono de reserva, en una proporción que oscila entre el 16 y 20% del peso fresco (5, 7, 11). La digestión de la inulina no eleva de manera significativa los niveles de glucosa en la sangre, y por eso el topinambur puede ser consumido por personas diabéticas. Adicionalmente, posee actividad prebiótica y disminuye los niveles de colesterol y triglicéridos en la sangre. La harina producida a partir del topinambur no tiene gluten, aspecto que hace a este producto apto para celíacos (2, 6, 10).

Existen numerosas variedades de topinambur difundidas en el mundo, pero en la Argentina se conocen solo dos, y las mismas se diferencian por el color rojo o blanco de su peridermis (12).

Atributos de calidad en topinambur con destino hortícola

La calidad se define como los rasgos y características de un producto que influyen en su aptitud para satisfacer requerimientos del consumidor (13). No existen estándares de valoración de calidad en topinambur; por lo que, a los fines de este trabajo, se utilizaron los establecidos para papa (*Solanum tuberosum* L.). Así, se evaluaron variables tales como: materia seca, contenido de sólidos solubles, firmeza de los tubérculos, color de la piel y la pulpa, días a brotación, y evolución del peso fresco.

Alternativas de conservación poscosecha (conservación a campo y en cámara frigorífica)

Los tubérculos, una vez cosechados, están sujetos a cambios fisiológicos continuos que producen la disminución de su calidad.

El almacenamiento en condiciones óptimas permite prolongar dicho período (3). Las opciones típicas de almacenaje de topinambur son dos: en cámara frigorífica y a campo. En el primer caso los tubérculos se cosechan luego de la primera helada y se almacenan; mientras que con la conservación a campo, los tubérculos permanecen en el suelo y se recolectan cuando se los necesita.

Los ambientes destinados a la poscosecha deben asegurar una reducción en la tasa de respiración al mínimo requerido para mantener los procesos vitales, de manera de extender lo máximo posible la conservación del tubérculo, cuidando a la vez que no se produzcan ataques de microorganismos patógenos.

La temperatura y la humedad son los factores que más influyen en el proceso (3). La primera debe reducirse en forma rápida después de la cosecha, a los fines de disminuir la respiración y la transpiración, mientras que la humedad es importante durante el almacenamiento, debido a que condiciona aspectos como la turgencia o desecación del tubérculo. Al respecto, Kays y Nottingham (2008) publicaron datos que afirman que los tubérculos de topinambur pueden ser almacenados durante 6 a 12 meses a 0-2°C y 90-95% de humedad relativa ambiente (HRA). Estos valores difieren de lo enunciado por López Camelo (2003), quien considera que el topinambur se puede almacenar 4 a 5 meses a una temperatura óptima de almacenamiento entre -0,5 y 0°C y 90 a 95% de HRA. Por su parte, Danilcenko *et al.* (2008), enuncia que los tubérculos almacenados en cámara frigorífica a 2°C de temperatura y 90-95% de HRA, durante un período de 4 meses, sufren alteraciones en muchas de sus características deseables, tales como la firmeza y el contenido de inulina.

Según ensayos realizados por Bach *et al.* (2012) el contenido de materia

seca (MS) y azúcares en topinambur varían según la fecha de cosecha (30, 46 y 48 semanas desde la plantación) y la variedad (ciclo corto, medio y largo).

La MS fluctúa entre 19,4 y 22,8 g/cada 100 g de peso fresco, no presentando diferencias entre fechas de cosecha para las variedades de ciclo medio y largo, pero sí para la de ciclo corto que presentó un menor contenido de MS en la cosecha 1 (30 semanas desde plantación) que en las 2 y 3 (46 y 48 semanas desde plantación). Esta última variedad es la que presenta el mayor contenido de MS en todas las fechas de cosecha.

Con respecto al contenido de azúcares, en la variedad de ciclo medio se mantienen constante; pero, en las variedades de ciclo corto y de ciclo largo aumentó el contenido total de azúcares entre la primera y la segunda fecha de cosecha.

Objetivos

Con estos ensayos se busca: 1) determinar la calidad de los tubérculos de dos variedades de topinambur en cuatro fechas de cosecha; 2) evaluar las posibles variaciones de calidad de los tubérculos almacenados en cámara frigorífica durante su período de conservación; y 3) conocer el efecto de dos variables: a) del lugar/condiciones y b) tiempo de conservación sobre la calidad de los tubérculos de topinambur. Adicionalmente se pretende contribuir con información para la valoración de los estándares de calidad del topinambur.

Hipótesis

Es posible conservar tubérculos de topinambur durante todo el año, manteniendo su calidad hortícola, combinando distintos tiempos de conservación de los tubérculos a campo y en cámara frigorífica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material experimental

Se utilizaron tubérculos de topinambur de peridermis roja y de peridermis blanca, cultivados en la finca de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo (Latitud 33°00'30" S - Longitud 68°52'32" O), sitio que también fue utilizado para la conservación a campo.

La conservación se llevó a cabo en dos modalidades: a campo y en cámara frigorífica. La temperatura de suelo a las que fueron conservados los tubérculos, tomada a 10 cm de profundidad, y como promedio de las mediciones realizadas a las 9:00, 15:00 y 21:00 h cada día, se muestran en la tabla 1.

En la cámara frigorífica se mantuvo durante el ensayo una temperatura de $1^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y HRA de $86\% \pm 6\%$. Los tubérculos almacenados en la cámara frigorífica fueron colocados dentro de bolsas de polietileno de 30 micrones con perforaciones.

Variables evaluadas

Debido a que no se dispone de estándares de valoración de calidad para esta especie, se utilizaron algunos de los índices establecidos para papa (*Solanum tuberosum* L.). Las variables evaluadas fueron; a) materia seca: al momento de cada cosecha se llevaron tres muestras (3 repeticiones), de 1 kilogramo de cada variedad de topinambur a estufa (65°C), hasta peso constante.

Por diferencia de peso se determinó el contenido de materia seca de los tubérculos; b) contenido de sólidos solubles: se utilizó un refractómetro de mano (ATAGO, Brix 0-32%). Se cortó, con cuchillo, una pequeña porción y se la colocó en un prensa ajos (envuelta en muselina) para obtener el líquido necesario para la determinación. El jugo a analizar se depositó sobre el prisma, se cerró la tapa y el instrumento se dirigió hacia la luz. A través de la lectura directa en la escala del refractómetro, se determinó el porcentaje de sólidos solubles.

El equipo se calibró de tal manera que indicaba 0% cuando se realizaba la medición con agua destilada y era perfectamente higienizado (con agua destilada y secado con papel absorbente) entre cada determinación; c) firmeza de tubérculos: se utilizó un penetrómetro con una cuchilla de corte para medir firmeza en hortalizas. Sobre una muestra de material se ejerció presión con el penetrómetro, y por lectura directa sobre el equipo se determinó la resistencia a la penetración (en kg o lbs) que presenta el tubérculo. La medición es destructiva por lo que el material, luego de utilizado, se descartó; d) color de la peridermis y pulpa: se determinó con un colorímetro Kodak Minolta CR-400. Con el equipo en mano se disparó un haz de luz, sobre el material cuyo color se deseaba determinar, y se leyó en la pantalla digital las coordenadas de color.

Tabla 1. Temperaturas promedio máximas, medias y mínimas de suelo, a 10 cm de profundidad, tomadas a las 9:00, 15:00 y 21:00 h diarias.

Table 1. Maximum, average and minimum soil temperature, 10 cm of depth, at 9:00, 15:00 and 21:00 daily.

Período	T° media (°C)	T° máxima (°C)	T° mínima (°C)
Desde 24/05 hasta 12/07	7,46	12,3	1,9
Desde 12/07 hasta 30/08	7,97	17,3	2,5
Desde 30/08 hasta 18/10	14,5	22,8	6

Estas, se combinaron en la fórmula del índice de color (IC) y dichos valores fueron sometidos a análisis estadístico; e) presencia de brotes y desarrollo de hongos (*Penicillium*): se determinó, en forma visual, la presencia de brotes en los tubérculos al momento de cosecha y en las distintas fechas de medición. Lo mismo se hizo con los tubérculos que desarrollaron hongos (*Penicillium*) durante la conservación en cámara frigorífica. En ambos casos se determinó el porcentaje de ocurrencia; f) evolución del peso fresco: para cada tratamiento se colocó en cámara frigorífica tres kilos de cada una de las variedades, en bolsas de 1 kilo (3 repeticiones). Las bolsas se pesaron, en balanza de precisión, al inicio y al final del período de conservación. La diferencia de peso indicó cuál fue la evolución del peso fresco.

Diseño experimental

Se realizó un diseño factorial 2 x 2 con interacción en parcelas completamente al azar. Combinó tiempos de conservación de los tubérculos a campo y en cámara frigorífica. Se plantearon cuatro tratamientos; T1: los tubérculos fueron conservados durante 341 días en cámara frigorífica; T2: los tubérculos se conservaron 49 días a campo y 292 días en cámara frigorífica; T3: conservó el material 98 días en el campo y 243 en cámara frigorífica; y el T4: conservó a los tubérculos durante 147 días a campo. Este último tratamiento actuó como testigo, ya que el brotado de los tubérculos, indicó que se había superado el tiempo de conservación de los mismos en el campo.

Todos los tratamientos se iniciaron en forma simultánea, el 24 de mayo, luego de registrarse la primera helada en la zona de cultivo. La fecha de finalización tuvo lugar casi un año después, coincidiendo con la subsiguiente primera helada, lo cual

permitiría recolectar nuevamente material a campo. Cada tratamiento tuvo una fecha de cosecha diferente, cada 49 días, a los fines de comparar los tiempos y los métodos de conservación (foto 1 y figura 1, pág. 66). Una vez cosechados, los tubérculos fueron lavados con agua corriente y secados. A continuación se realizó sobre el lote correspondiente la valoración de las variables de respuesta, mientras que otro lote se dispuso en la cámara para ser utilizado posteriormente. Para materia seca se trabajó con 3 repeticiones y para las restantes variables con 20 repeticiones. A partir de estos tratamientos se evaluó:

- Efecto de la fecha de cosecha y la variedad sobre las variables de calidad: se midieron las variables de calidad al momento de la cosecha de cada uno de los tratamientos (24 de mayo, 12 de julio, 30 de agosto y 18 de octubre), para determinar cuál es el tiempo máximo posible que se puede demorar la cosecha de los tubérculos, manteniendo estos su calidad como alimento, para las dos variedades de topinambur.

- Evolución de los tubérculos conservados en cámara frigorífica: para cada tratamiento se determinó la variación de los atributos de calidad de los tubérculos almacenados en cámara frigorífica, cada 49 días, hasta completar su período de conservación.

- Incidencia de las condiciones (cámara frigorífica-campo) y tiempo de conservación sobre la calidad de los tubérculos: se comparó la calidad de los tubérculos almacenados en cámara frigorífica con aquellos que permanecieron en el suelo, para las fechas de medición indicadas a continuación:

- Fecha de medición 1-12 de julio: comparación de los tubérculos conservados en cámara frigorífica durante 49 días y los que estuvieron a campo por igual período.



Foto 1. Tubérculos brotados durante la conservación a campo.

Photo 1. Sprout tubers during field conservation.

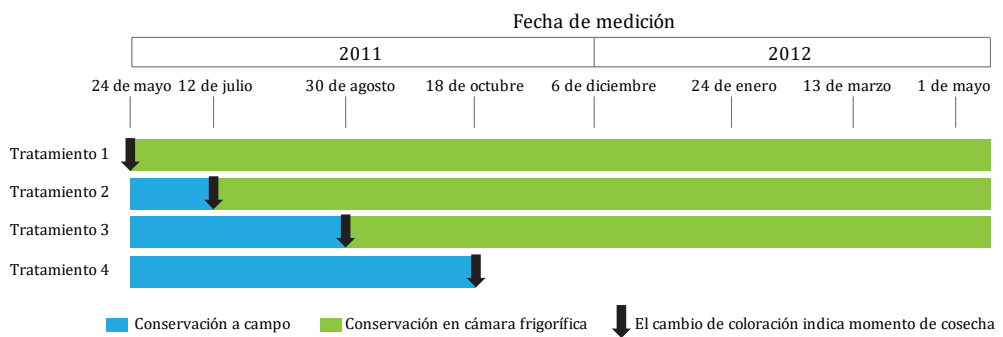


Figura 1. Tratamientos y fechas de medición (cada 49 días).

Figure 1. Treatments and measurement dates (every 49 days).

Fecha de medición 2-30 de agosto: contraste de las variables de calidad de las siguientes muestras; una conservada 98 días en cámara frigorífica, otra 98 días a campo, y la tercera 49 días en cada uno de los métodos de conservación ensayados.

Fecha de medición 3-18 de octubre: comparación de la calidad de los tubérculos de las siguientes muestras: una conservada 147 días a campo, otra con 96 días a campo y 49 días en cámara frigorífica; la tercera almacenada 49 días a campo y 96 en cámara frigorífica, y la última, en la cual se conservó los tubérculos durante 147 días en cámara frigorífica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos de la fecha de cosecha y la variedad sobre las variables de calidad

Materia seca (MS)

Para ambas variedades estudiadas, la MS de los tubérculos disminuye a medida que se atrasa el momento de la cosecha. El valor registrado para el tratamiento 4 se diferenció significativamente de los observados para las cosechas de los otros tratamientos.

Esto podría deberse a que en los tubérculos conservados en el campo se activa el metabolismo y movilización de las sustancias de reserva, a medida que aumenta la temperatura del suelo, disminuyendo así la MS.

El contenido de MS de los tubérculos varió entre 24,50 y 19,98 g cada 100 g de peso fresco. En los ensayos realizados por Bach *et al.* (2012) al igual que aquí, la MS de los tubérculos disminuye a medida que se retrasa el momento de cosecha.

Sólidos solubles

El mayor contenido de sólidos solubles se obtuvo en la cosecha del tratamiento 2

(19,1% blanca y 20,3% roja), en ambas variedades. La cosecha del tratamiento 1 presentó diferencias significativas entre variedades y respecto de la cosecha del tratamiento 2, observándose un aumento significativo en el contenido de sólidos solubles entre dichas cosechas. Esto coincide con lo observado por Bach *et al.* (2012) en dos de las tres variedades de topinambur por él ensayadas. Esta respuesta podría atribuirse a que durante ese período continuaban movilizándose sólidos hacia los tubérculos.

La cosecha del tratamiento 4 fue la que presentó menor porcentaje de sólidos solubles (12,8% blanca y 13,5% roja), resultado que se relaciona con el aumento de la temperatura del suelo de la parcela donde se conservaba el material y un consecuente aumento de la tasa respiratoria.

Firmeza de los tubérculos

La cosecha del tratamiento 2 presentó valores de resistencia a la penetración más bajos, es decir mayor firmeza. Esto podría estar relacionado con el estado en que los tubérculos alcanzan el nivel completo de las reservas provenientes de la parte aérea de la planta. La cosecha del tratamiento 4 es la que presentó los valores de resistencia a la penetración más altos (menor firmeza), siendo: 4,22 kg para la variedad blanca y 4,69 kg la rojas. Este resultado podría deberse a la menor turgencia resultante de una deshidratación y movilización de las reservas en los tubérculos.

Índice de color de peridermis (ICPeridermis)

No se registraron diferencias significativas en el ICPeridermis para ninguna de las fechas de cosecha, pero sí se observaron diferencias significativas entre variedades, aspecto apreciable también a simple vista. Los valores fueron: ICPeridermis Blanca: 4,72; ICPeridermis Roja: 15,61.

Índice de color de pulpa (ICPulpa)

El ICPulpa es significativamente diferente para las variedades blanca y roja, observándose para esta última un valor mayor (ICPulpa Blanca -1,27; ICPulpa Roja -0,95). Por su parte, las cosechas de los tratamientos 1 y 4 presentaron diferencias significativas. Estos resultados podrían sugerir cambios en la composición de la pulpa; aunque cabe mencionar que no eran percibidas visualmente.

Presencia de brotes

Las cosechas de los primeros tres tratamientos no presentaban brotes, mientras que la cuarta los presentó en ambas variedades. Esto indica que prolongar la cosecha de los tubérculos hasta dicha fecha deteriora el producto y lo vuelve no comercializable.

Evolución de los tubérculos conservados en cámara frigorífica

El tratamiento 4 no se llevó a cámara frigorífica debido a que los tubérculos se encontraban brotados, y el tratamiento 3 no tuvo una conservación exitosa. Por tal motivo, solo se presentan y comparan las variables de respuesta evaluadas para los tratamientos 1 y 2. Kays y Nottingham (2008), así como López Camelo (2009), publicaron datos que afirman que los tubérculos de topinambur pueden ser almacenados en cámara durante varios meses manteniendo su calidad, pero no hacen mención a la condición de los tubérculos al momento de ingresar a la misma. A partir de estos ensayos puede inferirse que los tubérculos cosechados en forma temprana, luego de ocurrida la primera helada en la zona en estudio, son los que mejor evolucionan en la cámara frigorífica.

Materia seca

Para ambos tratamientos las variedades no presentaron diferencias significativas en cuanto a la MS, pero sí se registró

diferencia para los días de conservación. Desde el ingreso a la cámara frigorífica, hasta el final del tratamiento, el contenido de MS aumentó significativamente, indicando la deshidratación de los tubérculos. El tratamiento 1 presenta valores porcentuales de MS iniciales (24,5%) y finales (38,5%) superiores al tratamiento 2 (23,1% y 35,2%, respectivamente).

Sólidos solubles

Las variedades presentaron diferencias significativas entre sí en ambos tratamientos. A medida que transcurrió el período de conservación en la cámara aumentó el contenido de sólidos solubles, probablemente debido a la deshidratación de los tubérculos y un aumento consiguiente de la concentración de sólidos solubles.

Firmeza de los tubérculos

Para el tratamiento 1 se obtuvieron diferencias significativas entre variedades, luego de la segunda fecha de medición (49 días), mientras que para el tratamiento 2, las diferencias se observaron luego de la cuarta fecha de medición (147 días). Esto indica que el tratamiento 2 permite mantener la firmeza de los tubérculos durante más tiempo. Esto coincide con lo enunciado por Danilcenko (2008), quien menciona que los tubérculos almacenados en cámara frigorífica, a 2°C y 90-95% de HR, pierden firmeza luego del transcurso de 4 meses.

Índice de color de Peridermis (ICPeridermis)

El ICPeridermis es mayor en la variedad roja que en la blanca. Este resultado se aprecia, además, a simple vista. En ambos tratamientos la variedad blanca presentó diferencias significativas entre las fechas de medición, pero no ocurrió lo mismo con la variedad roja. Esta última tuvo un aspecto más homogéneo respecto de su coloración.

Índice de color de Pulpa (ICPulpa)

Cambios en el ICPulpa de los tubérculos pueden indicar modificaciones o alteraciones del alimento. En los tratamientos 1 y 2 se detectó interacción entre la variedad y los días de conservación, aunque no con una tendencia clara.

Presencia de brotes y/o desarrollo de hongos

No se observó presencia de brotes ni hongos (*Penicillium*) en el tratamiento 1 hasta los 294 días de almacenaje, mientras que en el tratamiento 2 se constató la aparición de hongos a partir de los 194 días; aspecto que se acentuó con el avance del período de conservación.

Evolución del peso fresco

En ambos tratamientos, las variedades no presentaron diferencias significativas. Sí se observaron diferencias en cuanto a los días de conservación.

Incidencia de las condiciones (cámara frigorífica - campo) y tiempo de conservación sobre la calidad de los tubérculos

La fecha de medición 3, realizada el 18 de octubre, en la que se que conservó los tubérculos a campo hasta dicho momento, debió ser descartada debido a que los mismos se encontraban brotados. Por este motivo, solo se presentan aquí las fechas de medición 1 y 2.

Fecha de medición 1 - 12 de julio

El contenido de sólidos solubles no presentó diferencias significativas entre variedades ni entre métodos de conservación (valor medio 19,76°Brix). La firmeza de los tubérculos en la variedad blanca no presentó diferencias entre métodos de conservación; pero sí la roja, en la cual se observó una mayor

firmeza en cámara frigorífica que a campo (5,22 kg vs 4,29 kg). El índice de color de Peridermis es significativamente diferente para las variedades blanca (ICPeridermis 4,92) y roja (ICPeridermis 16,01).

Los métodos de conservación también presentaron diferencias significativas entre sí (ICPeridermis 9,05 a campo - ICPeridermis 11,88 en cámara frigorífica). Respecto del índice de color de la pulpa, las variedades presentaron diferencias significativas, indistintamente del método de conservación utilizado (ICPulpa blancos: -1,59; ICPulpa Rojos: -1,04). En esta fecha de medición, no se observó presencia de brotes ni desarrollo de hongos en los tubérculos, para ninguna de las variedades y métodos de conservación.

Fecha de medición 2 - 30 de agosto

El contenido de sólidos solubles para cada variedad no presentó diferencias significativas para la variedad roja, pero sí para la blanca, aumentando su contenido con el transcurso del período en la cámara frigorífica. Analizado en función de los métodos de conservación, no se hallaron diferencias significativas entre variedades.

Respecto de la firmeza, las variedades no presentaron diferencias significativas, pero sí los métodos de conservación. En este caso, los tubérculos con mayor firmeza son los que permanecieron más tiempo en el campo.

El índice de color de peridermis varió entre variedades, pero no entre métodos de conservación. Mientras que el índice de color de pulpa presentó diferencias significativas entre variedades y métodos de conservación, no observándose ninguna tendencia. En esta fecha de medición no se observó presencia de brotes ni desarrollo de *Penicillium* en los tubérculos para ninguna de las dos variedades y métodos de conservación.

CONCLUSIONES

Es posible prolongar la vida poscosecha de tubérculos de topinambur durante todo el año, manteniendo su calidad hortícola, y combinando distintos tiempos de conservación de los tubérculos en el campo y en cámara frigorífica.

En función de las fechas ensayadas, en la zona en estudio el período de cosecha se extiende desde la primera helada (mediados de mayo) hasta la segunda fecha de cosecha (49 días después).

La disminución de calidad se hace más notoria a medida que transcurre el tiempo de permanencia en el campo. Esto se debe al aumento de la temperatura ambiental y del suelo, y al aumento de la tasa respiratoria. Los datos sugieren que, para consumo en fresco, es posible efectuar la cosecha hasta 98 días posteriores a la primera helada, aunque sobre estos tubérculos no se observó una correcta conservación en cámara frigorífica.

El estudio de la evolución de los tubérculos conservados en cámara frigorífica muestra que aquellos que permanecen a campo más allá de la segunda fecha de cosecha (12 de julio) no presentan la calidad adecuada luego de transcurrido el período de conservación. La variedad roja es más susceptible al brotado y desarrollo de hongos (*Penicillium*) durante la conservación en la cámara frigorífica.

Respecto de los efectos del método y tiempo de conservación sobre la calidad de los tubérculos, se aprecia nuevamente que los tubérculos que se conservaron a campo, luego de la segunda fecha de medición (30 de agosto), pierden rápidamente su calidad comercial. Cabe destacar que el período adecuado de conservación a campo posiblemente pueda extenderse más allá del 30 de agosto, pero siempre antes del 18 de octubre. Ensayos con una periodicidad de medición menor a 49 días podrían contribuir a ajustar dicha fecha.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bach, V.; Kidmose, U.; Kjeldsen Bjorn, G.; Edelenbos, M. 2012. Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. *Food Chemistry* 133: 82-89.
2. Carvalho, S.; Toledo, I.; Araújo, F.; Pereira G. 2004. Fructanos en raíces tuberosas de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*-Poep. & Endl.) expuestas al sol y almacenadas bajo condiciones ambientales. *Agro-Ciencia*. 20(1): 17-23.
3. Chiesa, A. 2010. Factores precosecha y postcosecha que inciden en la calidad de la lechuga. *Horticultura Argentina*. 29(68): 28-32.
4. Danilcenko, H.; Jariene, E.; Aleknavičienė, P.; Gajewski, M. 2008. Quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to storage conditions. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*. 36(2): 23-27. Disponible en www.notulaeobotanicae.ro (octubre 2013).
5. Duke, J. 1983. *Helianthus tuberosus* L. Handbook of energy crops. En: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke.energy/Helianthus_tuberosus.html (consultado junio 2012).
6. Eguía, E. 2014. Topinambur, una especie con grandes cualidades como alimento funcional. Universidad FaSta. Argentina. Disponible en: http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/678/2014_N_009.pdf?sequence=1 (consultado enero 2015).
7. Ibareguren, L.; Reborá, C. 2013. El cultivo de Topinambur: generalidades sobre su ecofisiología y manejo. *Horticultura Argentina*. 32(77): 35-41.
8. Kays, S.; Nottingham, S. 2008. Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* L. Ed. CRC Press. p. 269-344 / 383-400.

9. López Camelo, A. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO N° 151. 49-80 / 95-115.
10. Moshfegh, A.; Friday, J.; Goldman, J.; Chug Ahuja, K. 1999. Presence of inulin and oligofructosa in the diets of americans. The Journal of Nutrition, American Society for Nutrition. 129: 1407-1411.
11. Ragab, M.; Okasha, A.; Eloksh, I.; Ibrahim, M. 2003. Effect of cultivar and location on yield, tuber quality, and storability of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) I. Growth, yield, and tuber characteristics. Acta Horticulturae. 620: 103-111.
12. Rebora, C. 2008. Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.): usos, cultivos y potencialidad en la región de Cuyo. Horticultura Argentina. 27(63): 30-37.
13. Vignoni, L. 2004. Evaluación sensorial. Material didáctico para alumnos de posgrado. Dieta Buenos Aires. 29(137): 7-13.

Physiological and production responses of olive (*Olea europaea* L.) cv. Frantoio under regulated deficit irrigation on a semiarid mediterranean weather condition (Cholqui, Maipo Valley, Chile)

Respuestas fisiológicas y productivas en olivo (*Olea europaea* L.) cv. Frantoio bajo riego deficitario controlado en condiciones de un clima mediterráneo semiárido (Cholqui, Valle del Maipo, Chile)

Cristián Kremer, Luis Reyes, Thomas Fichet, Víctor García de Cortázar, Julio Haberland

Originales: *Recepción:* 03/05/2016 - *Aceptación:* 11/04/2017

Nota científica

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the Regulated Deficit Irrigation (RDI) effect on the cv. Frantoio olive tree, under semiarid mediterranean weather conditions (8 months dry period). The trial was established in the “El Oliveto” farm (33°48' S, 71°05' W) Cholqui, Melipilla, Metropolitan Region, Chile, and considered five irrigation treatments: 100% of crop evapotranspiration (ET_c) (T1), 85% ET_c (T2), 75% ET_c (T3), 70% ET_c (T4), and 65% ET_c (T5) applied between February (endocarp lignification) to May (harvest) of 2011. Periodic plant measurements were conducted, which included physiological parameters (midday stem water potential, photosynthesis and stomatal conductance) and production indices (mean fruit weight, maturity index and total production). The results obtained indicate that to a less irrigation water, the water potential, the stomatal conductance and the photosynthesis are decreased when compared to the 100% ET_c . As others have quoted, it was also noticed that the less irrigation water had no effect on yield and fruit oil content.

Keywords

olive oil • water stress • stem water potential

Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Casilla 1004. Santiago. Chile. cristiankremer@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del riego deficitario controlado (RDC) en el olivo cv. Frantoio, bajo condiciones de un clima mediterráneo semiárido (8 meses secos). El ensayo se estableció en el fundo "El Oliveto" (33°48' S 71°05' O) localidad de Cholqui, comuna de Melipilla, Región Metropolitana, Chile y consistió en 5 tratamientos de reposición hídrica equivalentes a: 100% evapotranspiración de cultivo (ET_c) (T1), 85% ET_c (T2), 75% ET_c (T3), 70% ET_c (T4), y 65% ET_c (T5) aplicados entre febrero (lignificación del endocarpo) y mayo (cosecha) de 2011. Se realizaron mediciones periódicas a la planta, las que abarcaron variables fisiológicas (potencial hídrico xilemático, fotosíntesis y conductancia estomática) y de producción (peso promedio de fruto, índice de madurez y producción total). Los resultados obtenidos indican que a menor restitución hídrica, el potencial hídrico, la conductancia estomática y la fotosíntesis se ven disminuidos comparados con el 100% de ET_c . Tal como señalaron otros autores, se observó que la menor reposición hídrica no afectó ni la producción, ni el contenido de aceite en el fruto.

Palabras clave

aceite de oliva • estrés hídrico • potencial xilemático

INTRODUCTION

The greater demand for olive oil at a world level has led to an increase in planted areas (13) and has generated a competition for the available water resources. This competition has headed to the development of different irrigation strategies based on deficit irrigation, where reduction in yield is usually compatible with commercial goals; while water saving is substantial (3). A wide array of deficit irrigation alternatives exists, particularly regarding whether the application is constant (CDI), partial (partial root-zone drying, PRI) or regulated to specific periods (RDI). There is a considerable amount of information validating the use of these strategies (14). For example, Gucci *et al.* (2007) demostred that fruit and oil yield from olives cv. Leccino irrigated with a 50% of their water needs during the irrigation period (2.5 months) were 19% lower than those fully irrigated.

Instead, more reduction in fruit than in oil yield has been described in studies where different deficit irrigation strategies were used (3, 9, 10, 13). In these studies, the oil yield of deficit irrigated trees ranged from 75 to 86%. Other studies described non reduction in fruit load, fresh and dry fruit weight and fruit value under RDI strategies with a seasonal water reduction of 16 to 25 % during June and July (5). One of the possible harmful effects from RDI is causing stomata to partially close and, as a consequence, reducing the photosynthetic rate due to a lower water availability. In this regard, studies by Alegre *et al.* (1999) and Selles *et al.* (2006) in olives trees subject to RDI, shown significantly lower stomatal conductances (gs) when compared to the control group, which was irrigated in function of water demand.

Regarding the water status of olive trees under stress conditions, Grattan *et al.* (2006) found out that water replenishment treatment over a 71% ET_c did not have any major difference on their xylematic water potential, which fluctuated from -0.2 MPa to -1 MPa.

Lower replenishment percentages led to reductions of xylematic water potential, reaching values of -4 MPa for replenishments between 15 and 25% ET_c . On the other hand, Alegre *et al.* (1999) found no significant differences in xylematic water potential between the control, 75 and 50% ET_c treatments. According to the research carried out by Grattan *et al.* (2006), it was also noticed that for water replenishment values below 70% ET_c , the weight of fresh fruits was negatively affected.

Nevertheless, this also brought a higher oil percentage in fruits, which was favorable in terms of oil production. Regarding the effects on the ripeness of fruits, olives under water stress conditions showed higher values on the ripeness index, which was related to a faster fruit ripening (2).

Despite this significant amount of information about the benefits of deficit irrigation strategies and in particular RDI for olive trees, several questions arise regarding the impact of such handling on productive farms in South America, where factors as soil, weather, and age of plants can be dramatically different from the original conditions of these research.

The latter is a major concern, specially in Chile, an emerging country in olive oil production, because research validating external results is scarce or not focused on the effects of these practices in oil production (15) or focused in periods where water for irrigation is not limited in the area of study (1). For these reasons, a field test was proposed for different levels of regulated water replenishment in "Frantoio" olives,

with the aim of determining preliminary effects of RDI on physiological variables, production and oil content.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out between February and May 2011 season in a commercial "Frantoio" olive orchard at the "El Oliveto" farm (33°48' latitude south, 71°05' longitude west, altitude 205 m a. s. l.), Cholqui, Melipilla, Metropolitan Region, Chile. The climate belongs to the temperate mesothermal stenothermic semiarid mediterranean type.

Temperatures range between an average maximum of 28.7°C in January and an average minimum of 3.4°C in July characterize the thermal regime. Annual average rainfall is 330 mm, with a water deficit of 1,030 mm and an 8 month dry period. During 2010 the annual rainfall was 290 mm concentrated between May and November, being the last precipitation event on November 2. No effective precipitation events occurred until June 2011.

Drip irrigated twelve year old "Frantoio" olive trees of similar vigor and fruit load were selected. The rows were N-S oriented and the spacing was 6x4 m with a total area of 1080 m². Irrigation design considered 4 L h⁻¹ droppers with one line of droppers per row, each being 1 m apart (discharge equivalent to 0.66 mm h⁻¹). The soil was a deep well drained alluvial soil, with a sandy clay loam texture (1.5 Mg m⁻³ average bulk density).

The profile showed thin and middle roots up to 100 cm depth, with the highest percentage being concentrated between 20 and 70 cm. Soil water holding capacity (SWHC) was 0.13 cm³ cm⁻³, allowing an equivalent depth of water of 6.5 cm, considering the active root zone (20 to 70 cm).

Treatments

Five irrigation treatments (T) were established as a percentage restitution of the crop evapotranspiration (ET_c), (T1)100%, (T2)85%, (T3)75%, (T4)70%, and (T5)65%, which were monitored from the endocarp lignification stage (February 2, 2011) until the harvest (May 6, 2011). ET_c was estimated using the baseline evapotranspiration (ET_o) based on the Penman-Monteith method and a crop coefficient (k_c) of 0.7 (4).

Meteorological data was obtained hourly from a previously calibrated agrometeorological station (Campbell Scientific Inc.) which was located at 300 m from the study site. All treatments were irrigated every 3 to 5 days at the same moment with different irrigation times, estimated as the quotient of the ET_c fraction to be replenished and the equipment discharge (0.66 mm h^{-1}), considering a 90% irrigation efficiency.

To achieve the later, each treatment had an independent irrigation layout which was controlled with a programmable valve, set just before an irrigation event began. The accumulated ET_c estimated during the research period was 21.16 cm (from January 28 to May 6, 2011).

To offset the effect of soil water availability to delay the measurable impacts of the RDI in olives, the orchard was fully irrigated until January 28 and the differential irrigation started on February 1, 2011. The first measurement was made on February 8, before an irrigation event, with an accumulated ET_c of 3.94 cm between January 28 and February 8, and an estimated fraction of SWHC available ranging from 0.62 for T1 and 0.51 for T5.

Physiological variables

Photosynthesis and stomatal conductance were determined with an infrared gas analyzer (CIRAS-2, PP Systems). Two completely expanded and mature leaves

were selected per plant in an average position on each tree, always maintaining the light exposure angles.

Each leaf was inserted into the assimilation chamber (2.5 cm^2 area) fed with air with a CO_2 concentration of 282 ± 20 ppm. The duration of the measurement varied between 40 and 60 seconds. Measurements were carried out between 12:30 and 14:30 local time, in days with clear skies: February 17, February 22 and March 3.

Xylematic water potential was measured at midday with a pressure chamber (PMS instrument, Oregon, U.S.A) using two branches exposed to the sun (one facing East and the other facing West) on three plants for each treatment. Before measuring, branches were covered with an aluminum and plastic sealed bag for at least one hour to permit xylem water potential and leaf water potential to equalize. Measurements were carried out every two weeks.

Production variables

The trees were harvest on May 6. The fruits per tree were counted, the average fruit weight was determined and the total kilograms (kg) per tree were weighed. The productivity and the crop load per tree were expressed by dividing the kg and fruits, respectively, by the trunk cross-sectional area (cm^2 TCSA) measured 40 cm up from the soil before the harvest, to take account of the possible differences in the size of the trees selected. Average fruit weight and ripeness index were determined on a subsample of 100 fruits with olives being separated by color into different categories and the ripeness index calculated with the formula proposed by Ferreira (Hermoso *et al.* 2004).

Oil content in fruits was determined by the Soxhlet extraction method in previously dried olive pulp and using petroleum ether as solvent. Results were expressed in oil percentage based on dry matter.

Experimental design

Corresponded to a completely randomized block design with 5 irrigation treatments distributed among 3 blocks, each block corresponding to a different orchard row. Each treatment per block was composed of 3 trees being the one in the center the experimental unit. Three pit hole (2 m depth, 6 m long, and 1.5 m wide) crossing the area between rows were described.

No roots were found between rows over 0.8 m from the center of the row, and the wet bulb had a similar radius. The latter description guarantee no border effects among neighboring rows since the distance between rows was 6 m. Results were subjected to an analysis of variance (ANOVA) with a 95% confidence level. Tukey's multiple range comparison test was carried out at a 5% significance level, when the ANOVA showed significant differences.

RESULTS

Xylematic water potential (Ψ_x)

Ψ_x did not show any significant differences between treatments for the first date of measurement, which would reflect a homogeneous soil water condition on plants a few days after the start of the RDI (figure 1a, page 78).

Nevertheless, starting from the third date of measurement, treatments with 75% or less ET_c replenishment tended to have lower Ψ_x values, which remained as such until harvest (figure 1a, page 78). This trend was significant for the last measurements, which showed significant differences between 100% and 65%.

The treatment with the highest water replenishment (100%), kept the highest Ψ_x values, with variations ranging from -1.6 to -2.9 MPa, while the treatment with

the lowest water replenishment (65%), also showed the lowest values, with variations ranging from -1.9 to -3.8 MPa.

The values of Ψ_x varied also with the corresponding VPD (figure 1b, page 78), with lower values when VPD was high and higher values when VPD was low. Specifically, on the fourth date of measurement, when VPD was 1.5 kPa, the Ψ_x ranged between -2.3 and -3.5 MPa. Conversely, with a VPD of 0.6 kPa (sixth date of measurement) the Ψ_x ranged between -1.4 to -2.3 MPa.

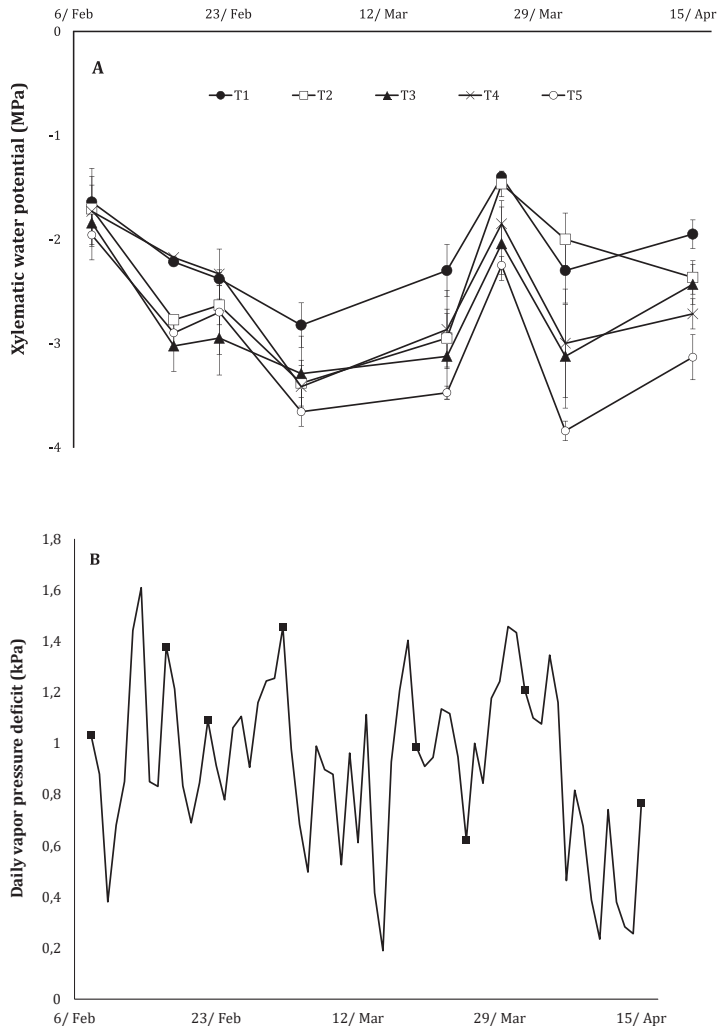
Relationships between physiological variables

Observations carried out at midday found out that for all the treatments when stomatal conductance increased (g_s), photosynthesis (A), and transpiration (E) increased. An evaluation of the model parameters was made using a hypothesis test in order to verify if there are differences among the treatments slopes. No significant differences were observed, therefore, the results were evaluated through a simple lineal regression (figure 2a and 2b, page 79), showing significant determination coefficients ($R^2=0.77$ and 0.86) for the regression between A vs. g_s and E vs. g_s respectively.

The regression between xylematic potential and stomatal conductance (figure 3a, page 80) or photosynthesis (figure 3b, page 80) showed that as xylematic potentials decreased, both stomatal conductance and photosynthesis were also diminished.

Production variables

There were no significant differences between treatments, which would indicate the RDI applied for this date and the established restrictions, would not affect the productive performance for "Frantoio" olive trees (table 1, page 81).



Bars indicate the standard error; the squares indicate the dates of xylematic potential measurement
 Barras indican el error estándar; cuadrados indican los días de medición de potencial xilemático.

Figure 1. (A) Xylematic water potential measured at midday, (B) Average daily vapor pressure deficit (VPD).

Figura 1. (A) Potencial hídrico xilemático medido a mediodía, (B) Déficit de vapor promedio diario (VPD).

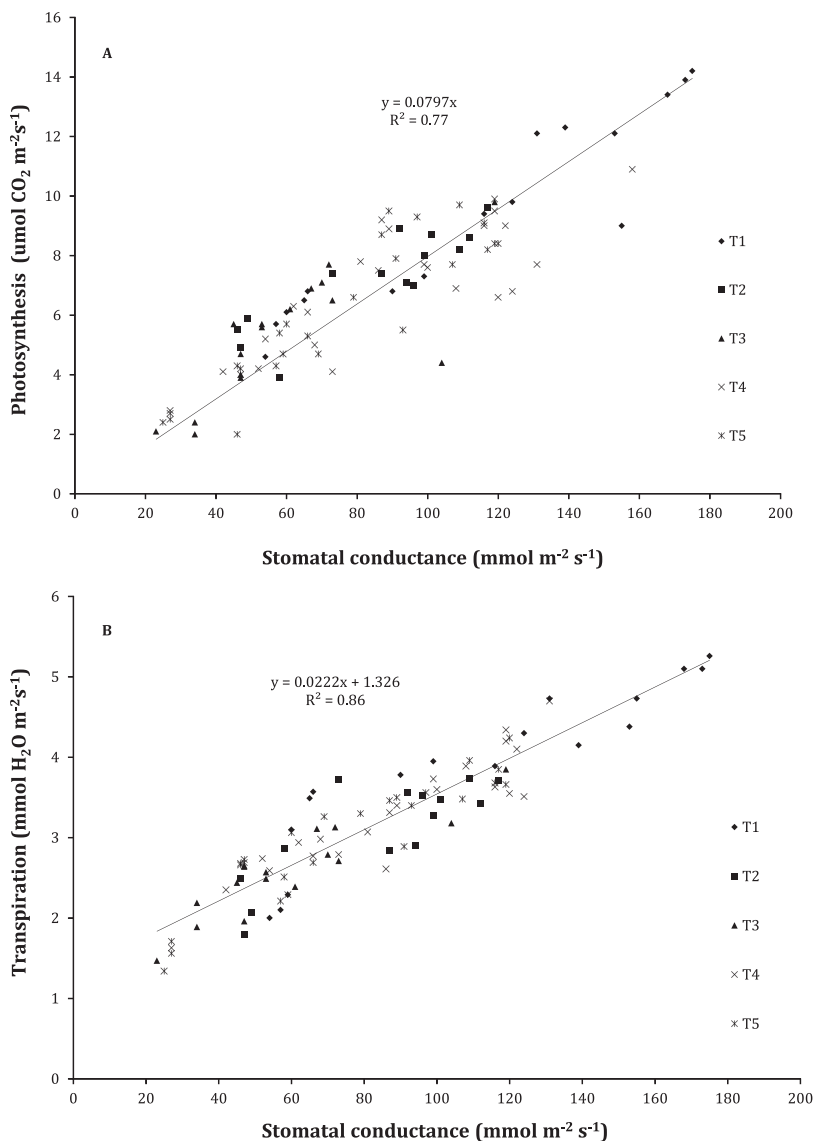
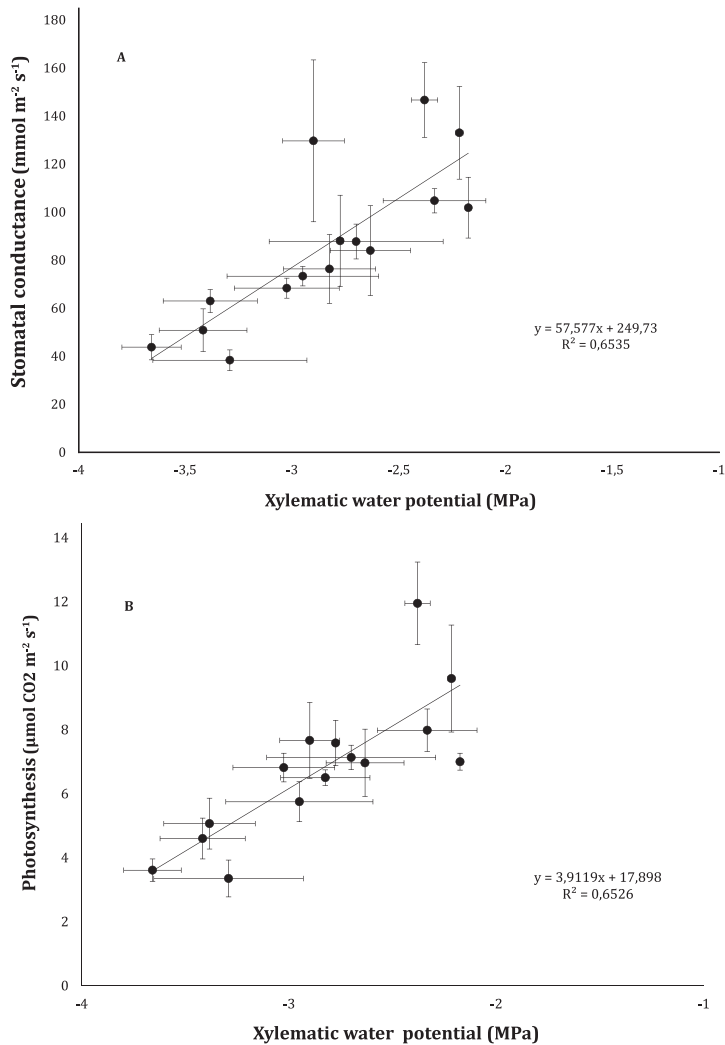


Figure 2. (A) Relation between photosynthesis and stomatal conductance for each observation, including the 5 treatments; the lineal regression which included the whole data is also shown, (B) Relation between transpiration and stomatal conductance for each observation, including the 5 treatments, the lineal regression which included the whole data is also shown.

Figura 2. (A) Relación entre fotosíntesis y conductancia estomática para cada observación incluyendo los 5 tratamientos, una regresión lineal incluye todos los datos, (B) Relación entre transpiración y conductancia estomática para cada observación incluyendo los 5 tratamientos, una regresión lineal incluye todos los datos.



The figures include data from the 5 treatments. / Las figuras incluyen datos de los 5 tratamientos.

Figure 3. (A) Relation between stomatal conductance (g_s) and xylematic water potential, (bars indicate the standard error), the lineal regression for the data is also shown, (B) Relation between photosynthesis and xylematic water potential (bars indicate the standard error), the lineal regression for the data is also shown. Each dot represents the average of 3 replications for both parameters measured at midday.

Figura 3. (A) Relación entre conductancia estomática (g_s) y potencial xilemático, (barras indican el error estándar), se presenta una regresión lineal para los datos, (B) Relación entre fotosíntesis y potencial xilemático (barras indican el error estándar), se presenta una regresión lineal para los datos. Cada punto representa el promedio de 3 mediciones para ambos parámetros medidos a mediodía.

Table 1. RDI effects on productive variables in “Frantoio” olive trees. Average value and its standard deviation per treatment are presented**Tabla 1.** Efectos del RDC sobre variables productivas en olivos “Frantoio”. Se presentan por tratamiento el valor promedio y su desviación estándar

Treatment	Ferreira ripeness index	Oil concentration dry weight basis (%)	Fruit yield (kg tree ⁻¹)	Fruit yield efficiency (g cm ⁻² TCSA)	Crop load (fruits cm ⁻² TCSA)	Fresh fruit weight (g)
100%	1.09 ± 0.12	45.91 ± 4.45	27.67 ± 15.41	54.41 ± 28.08	27.67 ± 17.38	2.17 ± 0.48
85%	1.54 ± 0.38	49.45 ± 2.42	28.30 ± 10.89	68.69 ± 15.25	34.55 ± 11.08	2.04 ± 0.33
75%	1.84 ± 0.16	50.87 ± 10.83	22.28 ± 4.86	49.41 ± 9.42	29.04 ± 9.93	1.77 ± 0.36
70%	1.41 ± 0.45	52.67 ± 5.35	17.73 ± 5.44	48.16 ± 12.31	23.75 ± 7.21	2.05 ± 0.10
65%	1.57 ± 0.34	53.17 ± 1.70	23.33 ± 9.62	58.11 ± 31.41	32.61 ± 19.40	1.84 ± 0.22
ANOVA p-value	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

N.S.: not significant; ANOVA: analysis of variance.

N.S.: no significativo, ANOVA: análisis de varianza.

Either, Ferreira ripeness index (color fruit), oil content based on dry matter, fruit yield efficiency, crop load, and fresh fruit weight, presented no significant differences, suggesting that a moderate RDI (over 65% water replenishment) between endocarp lignification and harvest in “Frantoio” olive trees does not impact the variables analyzed for this study.

DISCUSSION

Xylematic potential

Values obtained in this study which were higher than -3.8 Mpa for xylematic water potential (figure 1a, page 78), were similar to the ones obtained for other RDI tests on olive trees. There is the case of “Picual” olive trees, in which RDIs with contributions between 60 to 80% managed to induce xylematic water potential values over -3.8 MPa (12).

An analogous behavior was observed on “Frantoio” olive trees, which were subjected to irrigation between 66 and 100% of ET_c in the period between the start of endocarp lignification and start

of harvest, achieving xylematic water potential values over -3.5 MPa, showing no significant differences (16), similarly Selles *et al.* (2006) found out with RDI treatments of 40% of ET_c applied on the III phase of the fruit growth Sevillana, values between -2 to -3.4 MPa.

Relation ships between physiological variables

The results for the relationship between A and gs were similar to the ones obtained by Moriana *et al.* (2002), in which “Picual” olive trees were subject to treatments of up to 75% water replenishment regarding ET_c . These authors found a regression ($y = 0.074 x$; $R^2 = 0.92$), similar to the one obtained in this study (figure 2a, page 79), for plants with midday xylematic values higher than -4 MPa. There is a linear relationship between the decrease in potential and stomatal conductance.

Apparently, within the range of measured xylematic potentials, water stress protection includes stomatal closure and a decrease in potential as to preserve transpiration gradients.

The interesting part is that it is a linear reaction equally reflected in photosynthesis. Therefore, even though productive variables were not statistically altered (table 1, page 81), physiological ones were, a situation which should have an impact particularly on floral induction for the next season (11).

Production variables

The results obtained in this research suggest ET_c replenishment amounts applied on olive trees in this study from endocarp lignification until harvest do not affect oil level in fruits or other production variables as stated by other authors (5, 6, 16).

CONCLUSIONS

RDI practices do have an impact on olive trees. Xylematic potential measured at midday, showed a trend differentiating the various water amounts applied, even though this was a statistically significant

indicator for the water stress conditions more at the end of this research. On the other hand, the correct interpretation of xylematic potential data as a characterization of water restrictions cannot be isolated or made independent from the VPD.

A linear relationship between the decrease in xylematic potential and its impact on physiological variables such as stomatal conductance and photosynthesis was found. This trend would reveal that a decrease in irrigation water causes a proportional decrease in assimilated production, a situation which must be kept in mind when the RDI practices overlaps with a process, such as floral induction. On the other hand, there were no effects on the most relevant productive variables such as fruit growth and oil buildup. These preliminary results are in concordance with results than others authors have quoted, with similar RDI practices, being an initial promissory result validating deficit irrigation from foreign research.

REFERENCES

1. Agüero, A.; Rousseaux, M.; Searles, P. 2010. Respuestas fisiológicas y reproductivas al riego deficitario controlado de post-cosecha en olivo en una zona árida de Argentina. CRILAR CONICET. En: http://www.inta.gov.ar/mendoza/V_Jornadas/Ponencias/Aguero.pdf
2. Alegre, S.; Girona, J.; Marsal, J.; Arbonés, A.; Mata, M.; Montagut, D.; Teixidó, F.; Motilva, M. J.; Romero, M. P. 1999. Regulated deficit irrigation in olive trees. *Acta Horticulturae* (ISHS). 474: 373-376.
3. Caruso, G.; Rapoport, H. F.; Gucci, R. 2013. Long-term evaluation of yield components of young olive trees during the onset of fruit production under different irrigation regimes. *Irrigation Sciences*. 31: 37-47.
4. Girona, J.; Luna, M.; Arbonés, A.; Mata, M.; Rufat, J.; Marsal, J. 2002. Young olive trees responses (*Olea europea*, cv. "Arbequina") to different water supplies. Water function determination. *Acta Horticulturae*. 586: 277-280.
5. Goldhamer, D. A. 1999. Regulated deficit irrigation for Californian canning olives. *Acta Horticulturae*. 474(1): 369-372.
6. Grattan, S. R.; Berenguer, M. J.; Connell, J. H.; Polito, V. S.; Vossen, P. M. 2006. Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural Water Management*. 85: 133-140.
7. Gucci, R.; Lodoloni, E.; Rapoport, H. F. 2007. Productivity of olive tree with different water status and crop load. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 82: 648-656.

8. Hermoso, M.; Beltrán, G.; Uceda, M. 2004 Maduración. Pp. 159-183. In: Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. (Eds.). El cultivo del olivo, 5^{ta} edición, ediciones Mundi- Prensa. España. 800 p.
9. Iniesta, F.; Testi, L.; Orgaz, F.; Villalobos, F. J. 2009. The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy*. 30: 258-265.
10. Lavee, S.; Hanoch, E.; Wodner, M.; Abromowitch, E. 2007. The effect of predetermined deficit irrigation on the performance of cv. Muhasan olives (*O. europaea* L.) in the eastern coastal plain of Israel. *Science Horticulturae*. 99: 267-277.
11. Martín-Vertedor A. I.; Pérez, J. M.; Prieto, H.; Fereres, E. 2011. Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) I. Growth and water relations. *Agricultural Water Management*. 98: 941-949.
12. Moriana A.; Villalobos, F. L.; Fereres, E. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell and Environment*. 25: 395-405.
13. Moriana, A.; Orgaz, F.; Pastor, M.; Fereres, E. 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 128: 425-431.
14. Podestá, L.; Vallone, R.; Sánchez, E.; Morábito, J. A. 2010. Efecto del riego deficitario controlado sobre el crecimiento vegetativo en plantaciones jóvenes de cerezo (*Prunus avium* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 42(1): 73-91.
15. Sellés, G.; Ferreira, R.; Sellés, I.; Lemus, G. 2006. Efecto de diferentes regímenes de riego sobre la carga frutal, tamaño de fruta, y rendimiento del olivo cv. Sevillana. *Agricultura Técnica*. 66(1): 48-56.
16. Tognetti, R.; d'Andria, R.; Sacchi, R.; Lavini, A.; Morelli, G.; Alvino, A. 2007. Deficit irrigation affects seasonal changes in leaf physiology and oil quality of *Olea europaea* (cvs. Frantoio and Leccino). *Ann. Appl. Biol.* 150: 169-186.

Traffic of harvester combines: effect on maize yields (*Zea Mays* L.) and soil compaction under direct sowing system

Tráfico de cosechadoras: efecto sobre los rendimientos de maíz (*Zea Mays* L.) y compactación del suelo bajo el sistema de siembra directa

Guido Fernando Botta ^{1,2}, Alfredo Tolón-Becerra ³, Fernando Bienvenido ³, Ezequiel Ricardo David Rivero ⁴, Daniel Andrés Laureda ², Enrique Ernesto Contessotto ⁴, Roberto Andrés Fonterosa ², Diego Wilfredo Agnes ²

Originales: *Recepción:* 04/10/2017 - *Aceptación:* 03/11/2017

ABSTRACT

In this work, we quantified the effects of harvest traffic having different tyre ground pressures and axle loads on soil properties and maize (*Zea Mays* L.) yields. The treatments consisted of a control plot with no traffic (T1), a combine harvester with low tyre ground pressure (T2) and the same harvest traffic with high tyre ground pressure (T3). Cone index (CI), soil water content (SWC), rut depth (RD), root dry matter per plant (RDM) and maize yields (MY) were measured at seven places in relation to the tracks, namely: centre of the tracks (0), and at 70, 140 and 210 cm on either side of them. For three growing seasons, the results showed that in the topsoil (0 to 20 cm), CI values produced by treatment T3 were > 2.7 MPa and between 3.4 to 4.25 MPa in the subsoil (20 to 60 cm). Also, when the soil was trafficked by tyres with infalton pressures of 120 to 240 kPa, the CI increased in the topsoil and subsoil, but differences in rut depth (RD) at the surface did not extend into the subsoil in terms of CI. The greatest differences in RDM were found in the third growing season. The minimum MY of 4.7 Mg ha⁻¹ was observed in 2016 (third growing season) in the centre line of the tyre tracks after one pass of combine harvester with high tyre ground pressure. Yield increased with distance from the track centres reaching 5.10 Mg ha⁻¹ at 210 cm on either side of them. The main conclusions were that one pass of the combine harvesters with total weight load between 16.67 and 21.10 Mg was sufficient to increase the CI in both the topsoil and subsoil layers while maize yields were significantly reduced by all compaction in the combine harvesters tracks, as well as all positions alongside them.

Keywords

soil bearing capacity • cone index • crop yield • root growth

-
- 1 National University of Luján. Technology Department. P. C. 6700 Luján. Buenos Aires Province. Argentina. gfbotta@agro.uba.ar
 - 2 University of Buenos Aires. Scholl of Agriculture. Agricultural Engineering and Land use Department. Agricultural Machinery Area. P. C. 1427. Buenos Aires City. Argentina.
 - 3 University of Almería. Ctra. Sacramento s/n. La Cañada de San Urbano. 04120. Almería, Spain.
 - 4 University of La Pampa. School of Agriculture. Agricultural Machinery Area. P. C. 6300. Santa Rosa. La Pampa Province. Argentina.

RESUMEN

En este trabajo se cuantificaron los efectos del tráfico de cosechadoras con diferentes presiones en el área de contacto rueda/suelo y cargas por eje sobre las propiedades del suelo y los rendimientos del maíz (*Zea Mays* L.). Los tratamientos consistieron en una parcela testigo sin tráfico (T1), una cosechadora con baja presión en el área de contacto rueda/suelo (T2) y una cosechadora con alta presión en el área de contacto rueda/suelo (T3). Se midieron el índice de cono (IC), el contenido de agua en el suelo (CAS), la profundidad de huella (PFH), la materia seca de raíz por planta (MSR) y los rendimientos de maíz (RM) en siete distancias a un lado y otro de las huellas: (0), 70, 140 y 210 cm. Durante las tres temporadas de cultivo, los resultados mostraron que en la capa superficial del suelo (0 a 20 cm), los valores de IC producidos por el tratamiento T3 fueron > 2,7 MPa y entre 3,4 y 4,25 MPa en el subsuelo (20 a 60 cm). Además, cuando el suelo fue transitado por neumático con presiones de inflado entre 120 y 240 kPa, el IC aumentó en la capa superficial y el subsuelo, sin embargo la PFH en la superficie no se extendió al subsuelo en términos de IC. Las mayores diferencias en MSR se encontraron en la tercera temporada de crecimiento. El mínimo RM fue de 4,7 Mg ha⁻¹ y se observó en 2016 en el centro de la huella de los neumáticos después de un paso de la cosechadora con alta presión en el área de contacto rueda/suelo. El rendimiento aumentó con la distancia desde el centro de la huella alcanzando 5,10 Mg ha⁻¹ a 210 cm en cada lado de la misma. Las principales conclusiones fueron que una pasada del equipo de cosecha con un peso total entre 16,67 y 21,10 Mg fue suficiente para incrementar la IC en las capas de suelo y subsuelo, mientras que los rendimientos de maíz fueron significativamente reducidos por compactación en las vías de recolección, así como todas las posiciones a su lado.

Palabras clave

capacidad portante del suelo • índice de cono • rendimiento del cultivo • crecimiento de la raíz

INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is South America's second most important crop with 19.3 Mha devoted to it. The main producers are Brazil and Argentina, which in the 2015/2016 season produced 98 million metric tonnes (33).

Argentina is the second largest exporter of maize after the United States, 70% of its production being exported and Brazil is the third largest (13).

In Argentina, maize is produced in the Rolling Pampa region, mainly on clayey and loamy soils

(4.2 Mha under direct sowing (DS)) (33), which are very susceptible to compaction by high traffic intensity with heavy machinery such as seeding machines (50-110 kN), tractors (50-100 kN), combine harvesters (90 to 150 kN) and grain chasers (100-200 kN)). In harvest operations, Botta *et al.* (2007), found that when the traffic intensity increases on clay soils with a high bearing capacity (soils under long term DS) crop yields decrease and soil compaction problems increase. According to (ASAE Standarts (1992)),

compaction is caused by high wheel loads and tyre ground pressures from machinery used in DS crop operations, particularly when these operations are carried out on wet clay soil or with high inflation pressure tyres (between 140 to 218 kPa).

The roots of the majority of plants species are unable to penetrate deeper in the profile when there is compaction in the topsoil, and this is a frequently reported problem.

Nunes *et al.* (2015) also observed a higher concentration of maize (*Zea mays*) roots (63.8%) in the 0 to 7cm layer due to physical deterioration in the subsurface of an Oxisol (27) under no-tillage .

According to Lapiéc (2012), the mean crop yield reduction was 2.5%, but varied considerably among sites, years and crops. For example, the maize yield reduction due to persistent subsoil compaction as a consequence of high axle load was 6% in Minnesota and 12% in Quebec. The negative impact of agricultural tyres, with high ground pressure, heavy equipment and traffic on soil physical properties, root elongation and crop yields are well known (8, 11, 15). The equipment weight and the resulting wheel load are directly related to the machine and affect subsoil compaction (1, 8).

However, the tyre ground pressure and the distribution of pressure throughout the topsoil are linked to the tyre's attributes (21, 25) and are major engineering tools that can be used to control soil compaction (23).

According to Schjønning *et al.* (2015) small values of stress in the transverse direction of the tyre at high inflation pressures reflect a stress peak at the center of the tyre, which was also observed in other studies (16, 18, 19).

These statements argue that a single determination of bulk density made at the center of the tyre track at a single depth is probably not representative of the highest value at each horizontal or vertical location (32).

Studies by Hidalgo *et al.* (2014), in rice cultivation working in (Planosol) with special treads for these conditions, reported that in a packed soil with no structure, the passage of the special tyres caused more horizontal compaction due to soil displacement. These data are of relevant importance to compaction (8, 21). In this respect, Cambie *et al.* (2015), concluded (on a Dystric Cambisol), that deep ruts occurred in moist soil with just a single pass.

The largest negative impact on soil occurred when using a wheeled tractor on moist soil. A general rule of thumb is to prohibit traffic when soils are wetter than field capacity, although this may not account for conditions in the subsoil (12).

Although DS systems have been developed and tested around the world, the results vary depending on the climate and the time required by soils to adapt to a new management regime. Also, there is very little information in the literature on differences in maize (*Zea mays* L.) yields under DS caused by the horizontal transfer of compaction from the centre of tracks.

Objectives

Quantify soil parameters that affect maize crop development in different positions relative to equipment tracks.

Compare the effect of two different pressures of harvest equipment (combine harvester, tractor and grain chaser) on compaction of a Hapludol entic soil and maize yields cultivated under DS.

Hypothesis

That maize yields are negatively affected by one pass of harvest equipment and that this traffic causes horizontal soil displacement as well as subsoil compaction.

MATERIALS AND METHODS

The site and crop operations

The work was carried out at the *La Ines* farm (36°04'33.18" S y 62°29'14.57" W), located in west of the Buenos Aires province on a soil classified as Loamy Entic Haplustol (29). Typical profile characteristics are shown in table 1. Soil management history includes 8 years of crop rotation following a very common regional pattern, winter wheat/soya (*Triticum aestivum* L.)/(*Glicine max* L.) followed by maize (*Zea mays* L.) in the summer. The hybrid maize used was "Dekalb vt 670 3p", and was direct drilled in the first growing season on 10 October 2014, in the second growing season on 8 October 2015, and in the third growing season on 7 October 2016.

The sowing rate was 71500 pl ha⁻¹, and the sowing depth was 3 cm. The row spacing

was 70 cm and the average emergence was 90% in all treatments. Maize was harvested on: April 26, 2015 (end of the first growing season), April 25, 2016 (end of the second growing season) and April 26, 2017 (end of the third growing season) for all treatments. Yields on the control plot (T1) averaged 8.2 Mg ha⁻¹.

Fertilizer (60 kg ha⁻¹ of diammonium phosphate and 45 kg ha⁻¹ of liquid nitrogen) was applied nominally along the seed line while weeds were controlled using post-emergence herbicides.

Treatments

Two main treatments and a control plot without traffic (T1) were applied in three consecutive growing seasons using the equipment outlined in table 2 (page 89).

Treatment 2 (T2) consisted of combine harvester, all with tyres applying a low axle load and low tyre ground pressure. Treatment 3 (T3) used the combine harvester but with applying high axle loads and high tyre ground pressures.

Each experimental plot was trafficked with one pass of the harvest machines, each with its own centre line.

Table 1. Soil profile characteristics of the Entic Haplustoll.

Tabla 1. Perfil típico del suelo Haplustol Entico.

Horizons	Ap	A ₁₂	AC	C
Depth range (mm)	0-120	150-300	350-650	710-1120
Organic carbon g kg ⁻¹	10.2	6.1	5.2	-
C/N ratio	8	8	7	-
Clay (<2 μ) g kg ⁻¹	161	284	184	63
Silt (2-20 μ) g kg ⁻¹	98	63	76	99
Silt (2-50μ) g kg ⁻¹	176	144	131	206
Very fine sand (74 - 100) g kg ⁻¹	402	302	398	367
Fine sand (100 - 250 μ) g kg ⁻¹	159	201	207	261
Medium sand (250 - 500) g kg ⁻¹	4	6	4	4
pH	6.1	6.1	6.3	6.7
pH in H ₂ O (1: 2.5)	6.4	6.6	6.9	6.9

Table 2. Description and harvest characteristics.
Tabla 2. Descripción y características de las cosechadoras.

	Combine Harvester (T2)	Combine Harvester (T3)
Engine power (CV/kW)	325/238.3	480/352
Rotors	One	one
Front tyres	900/60 R 32	900/60 R32
Front tyres inflation pressure (kPa)	200	240
Rear tyres	28 L - 26	750/65 R 26
Rear tyres inflation pressure (kPa)	120	120
Total weight loaded (Mg)	16.67	21.10
Front axle weight (Mg)	11.66	13.72
Rear axle weight (Mg)	5.10	7.38
Static load per front wheel (Mg)	5.83	6.86
Static load per rear wheel (Mg)	2.55	3.69
Front wheel track width (mm)	3300	3450
Rear wheel track width (mm)	3300	3450
Front tyre - soil contact area (m ²)	0.845	0.924
Rear tyre - soil contact area (m ²)	0.800	0.862
Tyre ground pressure per front tyre (kPa)	67.61	77.99
Tyre ground pressure per rear tyre (kPa)	31.23	83.90

Fifteen 200 m x 80 m plots were randomly assigned to traffic treatments with five replicates for each treatment and 20 m wide buffer zones between plots to prevent interactions. Prior to the application of each treatment, all the combine harvesters was weighed (with electronic scale) to obtain its total, individual axle loads and wheel load (figure 1).

Harvest operations were the same for both the traffic treatments (figure 2, page 90) but were not in the same place each growing season because local commercial practice employs random traffic.

The same machinery was used for sowing and spraying the maize crop during the three growing seasons of the trial, but the harvest equipment was changed according to treatment.

The tyre-soil contact area (TSC) and tyre ground pressure was estimated as the ratio between total axle load and total tyre-soil contact area (5).

Parameters monitored

Cone index (CI), soil water content (SWC), rut depth (RD), root dry matter per plant (RDM) and maize yields (MY) were measured. Soil sampling was done at seven points across the tyre track, described as: centre line of the tyre track (0) and at 70, 140 and 210 cm to either side of it, denoted "inside" and "outside" (figure 3, page 90).



Figure 1. Weight of the machinery prior to the test.

Figura 1. Peso de la maquinaria previo al ensayo.

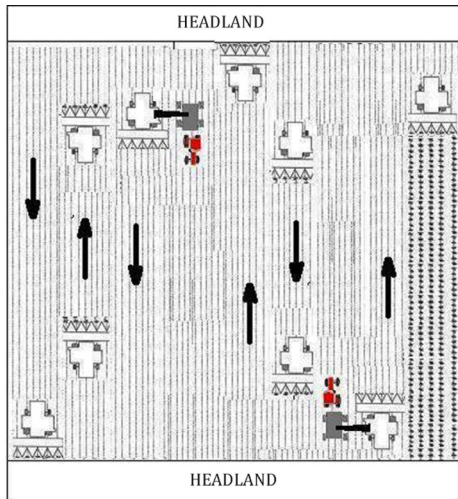


Figure 2. Schematic for the harvest traffic. Source: Botta *et al.* (2007).

Figura 2. Esquema para el tráfico de cosecha. Fuente: Botta *et al.* (2007).

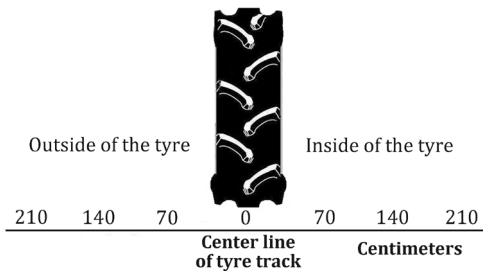


Figure 3. Soil and crop sampling points across the tyre track.

Figura 3. Puntos de muestreo del suelo y cultivo a través de la pisada del neumático.

Each of the points was selected at random within the sectors described by the passage of each of the treatments (figure 2, page 90). Cone index (CI) was measured after harvest at three depth ranges, 0-20-20-40 and 40-60 cm using a Rimick CP20 recording S313 penetrometer (3). Data for studying the impact of harvester passes on the CI, SWC and TD, were taken at the beginning (before sowing date) and end (harvest day) of each season, and averaged for the three growing seasons of study. On each measuring occasion, each datum was the mean of thirty soil samples for each of the plots per treatment, as proposed by Botta (2000). SWC was measured with a gamma probe at depths of 0-20 cm, 20-40 cm, and 40-60 cm. Each quoted value of SWC is the average of thirty measurements. Rut depths (RD) were measured using a profile meter consisting of a set of vertical metals rods (length 50 cm and diameter 0.5 cm), spaced 2.5 cm apart horizontally and sliding through holes in a 1-m long iron bar.

The bar was levelled across the wheel tracks perpendicular to the direction of travel and the rods pushed down to conform to the shape of the depression. The track depth was calculated from the average depth of 60 reads on the 1 metre bar.

Root dry matter (RDM) was measured 8 weeks after seedling emergence (during tasseling). Roots were sampled in the 0 to 30 cm depth range because most of the roots were concentrated in the first 25 cm.

A total of 70 samples were taken per treatment and after washing to remove all soil particles, the roots were dried at 104°C in a conventional oven to constant weight, which was recorded. To determine maize yield (MY), each plot was divided into 160 m² isolated quadrants in accordance with the method proposed by Tolón Becerra *et al.* (2011).

Statistical analysis

Data for yield and maize parameters for each growing season were analyzed by ANOVA considering a randomized block design. For all parameters, mean values were separated using the Duncan's multiple range tests with a significance level of 5%. Statistical analyses were carried out using Statgraph 7.1.

RESULTS AND DISCUSSION

Weather conditions

The ten-day total rainfall and average maximum temperatures from September 25 to April 30 for each year were registered. The average maximum air temperature was within normal ranges for the proper implantation and growth and development of maize. Rainfall during the critical period of maize growth (1st - 25th January) was below average in the three growing seasons. Rainfall was significant before harvest operations (last 10 days of April) in the third year causing high SWC. Because seasonal weather conditions were rather similar in all the growing seasons, variations in maize yields between seasons could be due to soil compaction produced by the different combine harvester.

Soil water content and Cone index

Over the whole period of the study (October 2014-April 2017), there was no significant difference in the SWC between depths (0 to 60 cm) seasons or treatments, although there was a small increase in absolute values with sampling depth. Topsoil compaction (0-20 cm) by treatment 3 (combine harvest with high tyre ground pressure) caused greater changes in the topsoil properties (CI > 2.7 Mpa) than treatment 2 (harvest with low tyre ground pressure). With respect to the CI values (figure 4, page 92),

the combine harvester (T2) caused the least increase in soil impedance, with minimal horizontal transfer of compaction in the 0 to 20 cm depth range, showing significant differences from the control only in the centre of the track. In contrast, (T3) caused the greatest increase in CI at all points analyzed, and was differentiated significantly from treatments T2 and T1 (control).

Compaction by the high tyre ground pressure treatment (T3) caused greater changes to the topsoil and subsoil properties than the low pressure treatment (T2). These results are in accord with those of Botta *et al.* (2016) and Håkansson and Reeder (1994), who indicated that compaction effects at high axle load are related to soil type, number of passes, tyre ground pressure and the number of years since compaction.

The CI values resulting from the T2 (low pressure) and T3 (high pressure) treatments were significantly different ($P < 0.01$) from the control plot (T1), but at different soil depths (as expected), *i.e.* 40 cm for T2 and 60 cm for T3.

In addition, the CI values were higher for T3 than for T2. It is likely that this higher CI, which caused densification of the subsoil, was due to passage of the heavier machinery during harvest operations (T2 = 21.10 Mg) rather than to the qualities of the ground itself. This mirrors studies by Arvidsson and Håkansson (2014), Botta *et al.* (2007) and Håkansson and Reeder (1994).

For the tyre low pressure treatment (T2), in the first depth range (0-20 cm) there were strong differences in the data from the sampling points, with maximum CI in the centre of the tracks and diminishing toward the sides, but always higher than the control plot, and up to 70 cm either side of the centre line of the tyre track (figure 4, page 92).

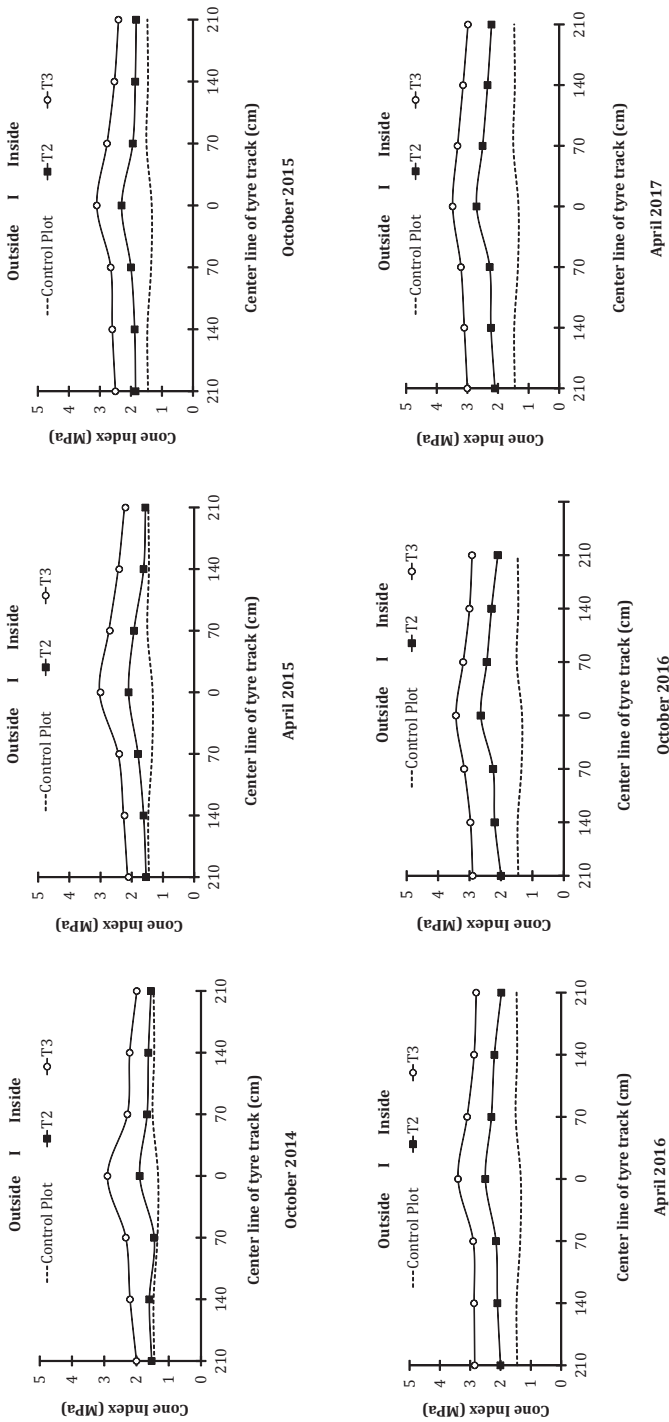


Figure 4. Cone index values (MPa) measured, between 0 to 20 cm depth range for two combine harvest in the three growing seasons at the start and end of testing.

Figura 4. Valores del índice de cono (MPa) medidos, entre 0 a 20 cm de profundidad para las dos cosechadoras durante las tres estaciones de crecimiento, al inicio y al final de la prueba.

For the high tyre ground pressure treatment (T3) CI values measured at 0, 70, 140 and 210 cm, to either side of the track centre, were significantly different to T1 (control) and T2 (low pressure) and higher than 2.5 MPa. For the three experimental growing seasons, the tyre ground pressure reflected in CI was always higher for treatment T3 (figure 4, page 92).

In the 20 to 40 cm depth range, T2 (low pressure) caused an increase in soil impedance compared with the control, but this difference was only significant ($P < 0.01$) at 70 cm, both on the inside and outside of the center line of the tyre track (figure 5, page 94; figure 6, page 95). Cone index values for the T3 treatment CI were higher than 3 MPa at the centre of the track between depths of 0 to 20 and 20 to 60 cm (figure 5, page 94; figure 6, page 95). These CI values indicate that over-compaction occurred in the subsoil and were greater than the limit of 2.0 MPa suggested by Botta *et al.* (2004) and Botta *et al.* (2009), to avoid yield decreases.

For treatments 2 and 3, the CI values measured at 70, 140 and 210 cm, to either side of the the tyre track centre were lower than at the centre.

The results for T3 in particular (tyre inflation pressures of up to 220 kPa in front tyres) are in accord with those of Jun *et al.* (1998) who indicated that the maximum normal stress occurred near the centre line of tyres at high inflation pressure. This was also observed by Hidalgo *et al.* (2016), Keller and Arvidsson (2004), Keller (2005), Lamandé and Schjønning (2011) and Schjønning (2015), who additionally noted that tyre inflation pressure significantly affects the vertical stress not only in the topsoil, but also in the subsoil.

Jun *et al.* (1998) also observed that the maximum tangential stress occurred near

the tyre centre line and decreased as the position moved towards the edge of the tyre.

For tretamnet 2, in the 40 to 60 cm depth range CI values at 210 cm to the outside and inside of the tyre track did not differ significantly from the control plot. There were no significant differences for this treatment (T2) compared with the control in the 40 to 60 cm depth range.

In this level depth range, average CI values for the three growing seasons were higher for (T3) than for (T2). Of particular note is the fact that T3 (in last season) caused CI values between 3.4 and 4.25 Mpa in the subsoil.

Rut depth (RD)

The RD for the two treatments were of different magnitudes. During all three growing seasons, RD at constant wheel load significantly increased the stress in the topsoil (0 to 20 cm) and upper subsoil (figure 7, page 96).

This figure also shows that RD was always greater for the high tyre ground pressure treatment (T3) than those of the equivalent low pressure. Also, the high axle load machines caused a higher pressure on the topsoil than (T2).

However, the influence of RD on subsoil compaction is not clear. Also, it can be seen (figure 7) that when the soil was trafficked with tyre ground pressures of 77.99 to 83.90 kPa and high load (Eg.: T3 = 21.10 Mg), the cone index increased in the topsoil and subsoil, but there was no effect of the RD on subsoil compaction (20 to 60 cm).

Root dry matter (RDM) and maize yields (MY)

In each of the three growing seasons, there were significant differences in RDM between all the traffic treatments as well as the control (table 3, page 97).

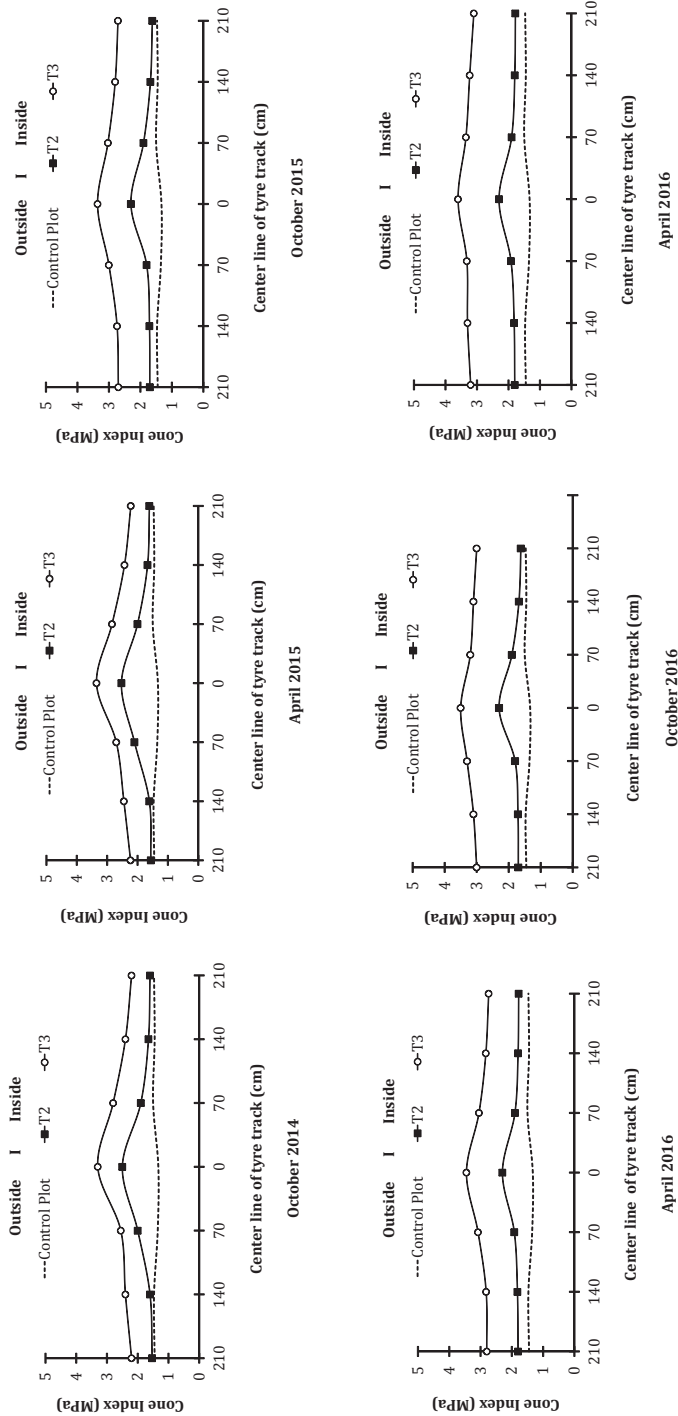


Figure 5. Cone index values (MPa) measured, between 20 to 40 cm depth range for two combine harvest in the three growing seasons at the start and end of testing.

Figura 5. Valores del índice de cono (MPa) medidos, entre 20 a 40 cm de profundidad para las dos cosechadoras durante las tres estaciones de crecimiento, al inicio y al final de la prueba.

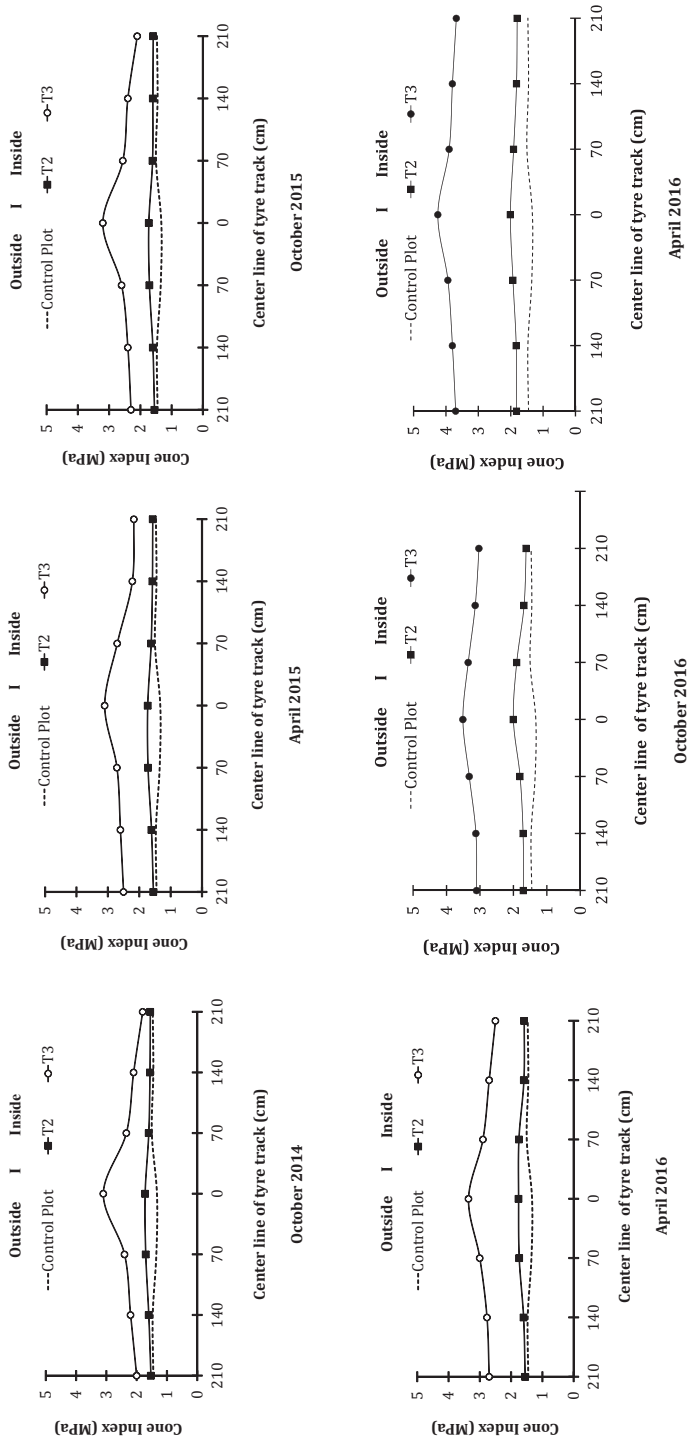
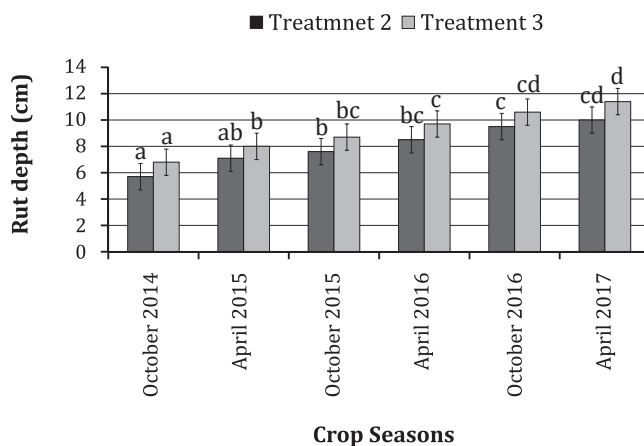


Figure 6. Cone index values (MPa) measured, between 40 to 60 cm depth range for two combine harvest in the three growing seasons at the start and end of testing.

Figura 6. Valores del índice de cono (MPa) medidos, entre 40 a 60 cm de profundidad para las dos cosechadoras durante las tres estaciones de crecimiento, al inicio y al final de la prueba.



Error bars indicate standard errors. (Values with different letters are significantly different ($P < 0.01$) Duncan's multiple range test).

Las barras de error indican errores estándar. (Los valores con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,01$) prueba de rango múltiple de Duncan).

Figure 7. Rut depth (cm) measured for two combine harvesters after traffic in the three growing seasons.

Figura 7. Profundidad de huella (cm) medida para los dos tratamientos después del tráfico en las tres estaciones de crecimiento del cultivo.

As the axle load increased, the RDM values decreased. Root dry matter (RDM) was affected negatively by soil compaction.

The highest RDM values were found in the 1st Growing season for T2 (46.6 g plant⁻¹) at the 210 cm position outside the track centre line, whereas the highest value in T3 was 41.9 g plant⁻¹ in the 1st Growing season (again at 210 cm outside the track centre line).

These results mirror those of Nunes *et al.* (2015) and Botta *et al.* (2009) who indicated that a decrease in root development of all species below the 0-10 cm layer reflected a restrictive soil physical condition. This was due to the presence of aggregates formed originally by compression, with high soil bulk density and low soil macroporosity. Also, according to Botta *et al.* (2016), roots are

biologically responsive indicators and tend to grow more vigorously in zones that show least physical resistance.

In all treatments, RDM values were directly proportional to maize yields which were greater in treatment 2 than treatment 3. Lower values of soil compaction were associated with greater maize yields and RDM (table 3, page 97 and table 4, page 98).

For the three growing seasons, in treatments T2 and T3, traffic caused variable decreases in maize yields. After one pass of the equipment, MY decreased significantly with respect to the control plot (T1 = 8.2 Mg ha⁻¹). The MY over the three growing seasons was significantly lower in the (T3) treatment, followed by (T2) (table 4, page 98).

Table 3. Root dry matter per plant (g plant⁻¹) for three growing seasons.
Tabla 3. Materia seca de raíz por planta (g planta⁻¹) en tres temporadas de crecimiento.

1 st Growing season							
Treatments	210 cm Outside	140 cm Outside	70 cm Outside	Center line of tyre track	70 cm Inside	140 cm Inside	210 cm Inside
(T3)	41.8 Cc	41.5 Cc	41.1 Cc	40.5 Cc	41.6 Cc	41.4 Cc	41.9 Cc
(T2)	46.6 Bb	46.1 Bb	46.2 Bb	45.2 Bb	46.1 Bb	46.1 Bb	46.3 Bb
Control plot (T1)	50.1 Aa	50.3.1 Aa	49.7 Aa	50.2 Aa	50.0 Aa	49.4 Aa	50.1 Aa
2 nd Growing season							
Treatments	210 cm Outside	140 cm Outside	70 cm Outside	Center line of tyre track	70 cm Inside	140 cm Inside	210 cm Inside
(T3)	41.5 Cc	41.1 Cc	41.0 Cc	40.0 Cc	41.3 Cc	41.5 Cc	41.7 Cc
(T2)	45.8 Bb	45.7 Bb	45.5 Bb	44.7 Bb	45.1 Bb	45.6 Bb	45.5 Bb
Control plot (T1)	50.1 Aa	50.3.1 Aa	49.7 Aa	50.2 Aa	50.0 Aa	49.4 Aa	50.1 Aa
3 rd Growing season							
Treatments	210 cm Outside	140 cm Outside	70 cm Outside	Center line of tyre track	70 cm Inside	140 cm Inside	210 cm Inside
(T3)	40.8 Cc	40.2 Cc	40.0 Cc	39.7 Cc	40.4 Cc	40.6 Cc	40.7 Cc
(T2)	45.0 Bb	45.2 Bb	45.1 Bb	43.9 Bb	45.0 Bb	45.2 Bb	45.2 Bb
Control plot (T1)	50.1 Aa	50.3.1 Aa	49.7 Aa	50.2 Aa	50.0 Aa	49.4 Aa	50.1 Aa

Means with different capital letters show significant differences between treatment (vertically) and lowercase letters show significant difference between sampling site (horizontally) ($P < 0.01$).

Medias con letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos (verticalmente) y letras minúsculas muestran una diferencia significativa entre los sitios de muestreo (horizontalmente) ($P < 0,01$).

The effect of harvester traffic (T2 and T3) on maize yield was found to be important, with yields decreasing with increased axle load and tyre ground pressure.

The minimum of 4.7 Mg ha⁻¹ was observed in the 3rd Growing season in the centre line of the tyre track in T3 treatment, but increased with distance from the centre, reaching 5.10 Mg ha⁻¹ at 210 cm on either side (table 4, page 98). Also, in the 3rd growing season, a minimum of 6.25 Mg ha⁻¹ was found in the centre line of the T2, increasing toward the sides, and reaching 6.70 and 6.71 Mg ha⁻¹ at 210 cm on the inside and the outside of the track centre line respectively (table 4, page 98). Treatment 3 resulted in a significantly

lower maize yield than from T2 and the control (T1).

Percentage decreases ranged from 42.69% (at the track centre line for T3 in the 3rd Growing season) to 16.82% (at 210 cm from the inside of the track centre line for T2 in the 1st Growing season).

Maize yields decreased with increasing tyre ground pressure and vehicle weight, with (T3), being the treatment with the lowest yield. It is probable that most of the yield reduction for T3 was caused by damage to the topsoil structure resulting from the higher tyre ground pressure produced by the combine harvester (> 80 kPa) and the high total load of T3 (21.10 Mg). This result is in agreement with those obtained by numerous researchers (2, 6, 14, 30, 31).

Table 4. Maize yields ($t\ ha^{-1}$) measured after harvesters traffic in three growing seasons.
Tabla 4. Rendimientos del maíz ($t\ ha^{-1}$) medido después del tráfico de las cosechadoras en las tres estaciones de crecimiento.

1st Growing season			
Sampling site	Control plot (T1)	Treatment 2	Treatment 3
210 Outside	8.20 Aa	6.81 Ab	5.56 Ac
140 Outside	8.20 Aa	6.73 Ab	5.45 Ac
70 Outside	8.20 Aa	6.59 Ab	5.38 Ab
Center line of tyre track	8.20 Aa	6.50 Ab	5.10 Ac
70 Inside	8.20 Aa	6.63 Ab	5.40 Ab
140 Inside	8.20 Aa	6.74 Ab	5.52 Ac
210 Inside	8.20 Aa	6.82 Ab	5.58 Ac
2nd Growing season			
Sampling site	Control plot (T1)	Treatment 2	Treatment 3
210 Outside	8.20 Aa	6.73 Ab	5.33 Ac
140 Outside	8.20 Aa	6.40 Ab	5.25 Ac
70 Outside	8.20 Aa	6.32 Ab	5.11 Ab
Center line of tyre track	8.20 Aa	6.35 Ab	5.03 Ac
70 Inside	8.20 Aa	6.42 Ab	5.15 Ab
140 Inside	8.20 Aa	6.51 Ab	5.26 Ac
210 Inside	8.20 Aa	6.75 Ab	5.38 Ac
3rd Growing season			
Sampling site	Control plot (T1)	Treatment 2	Treatment 3
210 Outside	8.20 Aa	6.70 Ab	5.10 Ac
140 Outside	8.20 Aa	6.30 Ab	5.05 Ac
70 Outside	8.20 Aa	6.20 Ab	5.01 Ab
Center line of tyre track	8.20 Aa	6.25 Ab	4.70 Ac
70 Inside	8.20 Aa	6.17 Ab	5.03 Ab
140 Inside	8.20 Aa	6.43 Ab	5.08 Ac
210 Inside	8.20 Aa	6.71 Ab	5.10 Ac

Means with different lowercase letters show significant differences between treatment (horizontally) and capital letters show significant difference between sampling site (vertically) ($P < 0.01$).

Medias con diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas entre tratamientos (horizontalmente) y mayúsculas muestran una diferencia significativa entre los sitios de muestreo (verticalmente) ($P < 0,01$).

CONCLUSIONS

In general, the degree of soil compaction is dependent upon the axle load, tyre inflation pressure and the tyre ground pressure.

Combine harvesters weighing 21.10 Mg with high inflation pressure tyres (240 kPa) compact the soil to 60 cm depth both below their track centres and to 210 cm either side. Combine harvesters weighing 16.67 Mg and with low tyre ground pressure (31.23 - 67.61 kPa) have

impact on the subsoil and only influence soil under the wheel centre and have limited or no influence on either side of it.

This study also demonstrated that if the wheel load and tyre inflation pressures and ground pressure increases, even in soils with a high bearing capacity (soil in long term direct sowing), maize yields decrease (in the machinery track and 210 cm to either side of it) and subsoil compaction increases.

REFERENCES

1. Arvidsson, J.; Keller, T. 2007. Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure. *Soil Till. Res.* 96: 284-291.
2. Arvidsson, J.; Håkansson, I. 2014. Response of different crops to soil compaction - Short-term effects in Swedish field experiments. *Soil Till. Res.* 138: 56-63.
3. ASAE Standards. 1992. Soil cone penetrometer S 313.2. *Am. Soc. Agric. Eng.* 611.
4. Botta, G. F. 2000. Subsoil compaction distribution induced by agricultural traffic. Thesis Doctor, Luján University. Argentina. p. 230.
5. Botta, G. F.; Jorajuria, D.; Draghi, L. 2002. Influence of the axle load, tyre size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *J. of Terr.* 39(1): 47-54.
6. Botta, G. F.; Jorajuria, D.; Balbuena, R.; Rosatto, H. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: Effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil Till. Res.* 78: 53-58.
7. Botta, G. F.; Pozzolo, O.; Bomben, M.; Rosatto, H.; Rivero, D.; Ressia, M.; Tourn, M.; Soza, E.; Vázquez, J. 2007. Traffic alternatives in harvest of soybean (*Glycine max* L.): effect on yields and soil under direct sowing system. *Soil Till. Res.* 96: 145-154.
8. Botta, G. F.; Rivero, D.; Pozzolo, O.; Tourn, M.; Bellora-Melcon, F.; Nardon, G.; Balbuena, R.; Tolón-Becerra, A.; Rosatto, H.; Stadler, S. 2008. Soil compaction produced by tractor with radial and bias-ply tyres in two soil conditions: conventional tillage and direct sowing. *Soil Till. Res.* 101: 44-51.
9. Botta, G. F.; Tolón-Becerra, A.; Tourn, M.; Lastra-Bravo, X.; Rivero, D. 2009. Seedbed compaction produced by traffic on four tillage regimes in the rolling Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 105: 128-134.
10. Botta, G. F.; Tolón-Becerra, A.; Rivero, D.; Laureda, D.; Ramírez-Roman, M.; Lastra-Bravo, X.; Agnes, D.; Flores-Parra, I. M.; Pelizzari, F.; Martiren, V. 2016. Compaction produced by combine harvest traffic: Effect on soil and soybean (*Glycine max* L.) yields under direct sowing in Argentinean Pampas. *Europ. J. Agronomy.* 74: 155-163.
11. Cambi, M.; Certini, F. F.; Foderi, C.; Laschi, A.; Picchio, R. 2015. Impact of wheeled and tracked tractors on soil physical properties in a mixed conifer stand. *iForest.* 9: 89-94.
12. Chamen, W. C. T.; Moxey, A. P.; Towers, W.; Balana, B.; Hallet, P. D. 2015. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil Till. Res.* 24: 359-380.
13. Fischer R. A.; Byerlee, D.; Edmeades G. O. 2014. Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world? *ACIAR Monograph No. 158.* Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. XXII + 634 p.
14. Håkansson, I. 2005. Machinery-induced compaction of arable soils incidence, consequences and counter-measures. Swedish University of Agricultural Sciences, Division of Soil Management. Report no. 109. p. 153.

15. Håkansson, I.; Reeder, R. C. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. *Soil Tillage Res.* 29: 277-304.
16. Hidalgo, R.; Botta, G. F.; Tolón-Becerra, A.; Pozzolo, O.; Dominguez, F.; Serafini, E. 2014. Rastrojo de arroz (*Oryza sativa* L.) en sistemas de siembra directa: alternativas de manejo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(2): 163-175.
17. Hidalgo, R.; Pozzolo, O.; Serafini, E.; Dominguez, F.; Beltramino, J.; Botta, G. F. 2016. Estudio de las prestaciones de cabezales arroceros con sistema draper. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(1): 65-78.
18. Jun, H.; Kishimoto, T. R.; Way, T. R.; Taniguchi, T. 1998. Three-directional contact stress distributions for a pneumatic tractor tire in soft soil. *Trans. ASAE* 41. 1237-1242.
19. Keller, T. 2005. A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. *Biosyst. Eng.* 92: 85-96.
20. Keller, T.; Arvidsson, J. 2004. Technical solutions to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. *Soil Till. Res.* 79: 191-205.
21. Koger, J. L.; Burt, E. C.; Trowse, A. C. 1985. Multiple pass effects of skidder tires on soil compaction. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 28: 11-16.
22. Lamandé, M.; Schjønning, P. 2011. Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part II: Effect of tyre size, inflation pressure and wheel load. *Soil Till. Res.* 114: 71-77.
23. Laureda, D. A.; Botta, G. F.; Tolón Becerra, A.; Rosatto, H. G. 2016. Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(1): 79-99.
24. Lipiec, J. 2012. Crop responses to soil compaction. In NJF Seminar. Soil compaction effects on soil functions and strategies for prevention. Helsinki, Finland. 8(1): 27-36.
25. Naderi-Boldaji, M.; Keller, T. 2016. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. *Soil Till. Res.* 159: 41-46.
26. Nunes, R. N.; Denardin J. E.; Pauletto, E. A.; Faganello, A.; Spinelli Pinto, F. 2015. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage *Soil Till. Res.* 148: 119-126.
27. Ruiz, H. A.; Oliverio Sarli, G.; Gonçalves Reynaud Schaefer, C. E.; Filgueira, R. R.; Silva de Souza, F. 2016. La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 95-105.
28. Schjønning, P.; Stettler, M.; Keller, T.; Lassen, P.; Lamandé, M. 2015. Predicted tyre-soil interface area and vertical stress distribution based on loading characteristics. *Soil Till. Res.* 152: 52-66.
29. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
30. Tolón-Becerra, A.; Tourn, M.; Botta, G. F.; Lastra-Bravo, A. 2011. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. *Soil Till. Res.* 117: 184-190.
31. Tolón-Becerra, A.; Botta, G. F.; Lastra-Bravo, A.; Tourn, M.; Rivero, D. 2012. Subsoil compaction from tractor traffic in an olive (*Olea europea* L.) grove in Almería, Spain. *Soil Use and Management.* 28: 606-613.
32. Trabbic, G. W.; Lask, K. V.; Buchelle, W. 1959. Measurement of soil-tire interface pressures. *Agricultural Engineering.* 678-681.
33. USDA (United States Department of Agriculture). 2016. World Agricultural Production. Circular Series. Circular Series WAP 7-16.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by grants to Technology Department National University of Luján and Faculty of Agronomy, University of Buenos Aires (Project UBACyT 2014 - 2017). The Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) and European Regional Development Fund (ERDF) (Project CTM2013-41750-P, "Territorial and sector target distribution model for evaluating sustainability progress using indicators") are also gratefully acknowledged.

Análisis de la eficiencia física, económica y social del agua en espárrago (*Asparagus officinalis* L.) y uva (*Vitis vinifera*) de mesa del DR-037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, Mexico 2014

Analysis of physical, economic and social water efficiency in asparagus (*Asparagus officinalis* L.) and grape (*Vitis vinifera*) fruit from DR-037 of Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, Mexico 2014

José Luis Ríos Flores ^{1*}, Becky Elizabeth Rios Arredondo ², Jesús Enrique Cantú Brito ³, Hebrían Efraín Rios Arredondo ⁴, Sigifredo Armendáriz Erives ¹, José Antonio Chávez Rivero ⁵, Cayetano Navarrete Molina ⁶, Rafael Castro Franco ¹

Originales: *Recepción*: 8/10/2015 - *Aceptación*: 21/12/2017

RESUMEN

Este trabajo estimó la eficiencia del agua en los cultivos de espárrago y vid en el Distrito de Riego 037 mediante el uso de indicadores que permitieron determinar la eficiencia física, económica y social del agua en el cultivo de espárrago *versus* uva de mesa. Los indicadores de la eficiencia física, económica y social del agua fueron 2.075 y 625 L kg⁻¹, US\$ 540.924 y US\$ 945.190 de utilidad hm⁻³ y 48,6 y 10,7 empleos hm⁻³ respectivamente para espárrago y vid. En conclusión, el espárrago en comparación con la uva de mesa es ineficiente en el uso del agua en términos físicos y económicos, mas no sociales, el uso del agua en espárrago genera 4,54 veces más empleo por unidad de agua usada. De los 8.281 empleos, US\$ 163,63 millones de utilidad y 245,63 hm³ de agua usada por ambos cultivos, el espárrago contribuyó con 91%, 56,3% y 69,2% respectivamente. En Caborca el agua es un recurso escaso, sin embargo, a pesar de que la proporción utilidad m⁻³/costo m⁻³ fue de 29,7, ubica al agua regional dentro de lo que la economía llama la tragedia de los bienes de uso común, lo que ha provocado un serio problema de sobreexplotación del acuífero, pues el productor hace un uso ineficiente del agua.

Palabras clave

espárrago • uva de mesa • eficiencia • productividad del agua • indicadores económicos

-
- 1 Univ. Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Domicilio Conocido. Bermejillo. Mapimí. Durango. México. Apartado postal No.8, C.P. 35230. *yukov1234@hotmail.com
 - 2 Univ. Autónoma de Coahuila. Fac. de Cs. Biológicas-Ingeniería Bioquímica Ambiental. Coahuila. México.
 - 3 Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Dpto. de Producción Animal. Coahuila. México.
 - 4 Inst. Tecnológico de Estudios Sup. de Monterrey Campus Torreón. Maestría en Administración y Control de Energía. Coahuila. México.
 - 5 Univ. Autónoma Chapingo. Grupo Interdisciplinario de Vinculación. Durango. México.
 - 6 Univ. Autónoma Chapingo. Departamento de Posgrado. Durango. México.

ABSTRACT

This work estimated the efficiency of water in asparagus and vine crops in Irrigation District 037 through the use of indicators that allowed determining the physical, economic and social efficiency of water in the cultivation of asparagus *versus* table grape. Indicators of physical, economic and social efficiency of water were 2075 kg and 625 L⁻¹ US\$ 540,924 and \$ 945,190 useful hm⁻³ and 48.6 and 10.7empleos hm⁻³ respectively for asparagus and vine. In conclusion, asparagus compared with table grapes is inefficient water use in physical and economic but not social terms, water use in asparagus generates 4.54 times more jobs per unit of water used. Of the 8,281 jobs, US\$ 163.63 million of utility and 245.63 hm³ of water used by both crops, asparagus contributed with 91%, 56.3% and 69.2% respectively. In Caborca water is a scarce resource, however, even though the proportion utility m³/cost m³ was 29.7, it places the regional water within what the economy called the tragedy of the common goods. Which has caused a serious problem of overexploitation of the aquifer, as the producer makes an inefficient use of water.

Keywords

asparagus • table grape • efficiency • water productivity • economic indicators

INTRODUCCIÓN

El agua dulce es indispensable para la vida, pero la cantidad disponible es escasa y su distribución desigual. Solamente el 0,26%, se encuentra realmente disponible para todos los seres humanos (33), visto de otra forma, el uso eficiente del agua en la agricultura es en extremo relevante.

Del total de agua en el mundo, solamente el 0,26% es agua dulce disponible, 2,24% es agua dulce no disponible al estar en los casquetes polares y en el permafrost y aguas en extremo profundas y el 97,5% es agua salada de los mares. Además, la agricultura de riego en las zonas áridas y semiáridas, emplea más del 80% del total del agua dulce disponible (56).

Recientes estudios realizados por el Instituto Internacional del Manejo del Agua, indican que una tercera parte de la población que habita en los países desarrollados padecerá la escasez del agua, es decir; no tendrán suficientes recursos hídricos para mantener sus necesidades agrícolas, domésticas, industriales y ambientales que requerirán para el año 2025 (56).

Conforme la demanda de agua para abastecer al sector agrícola crece, se incrementa la competencia por el recurso por los demás usuarios, tales como el sector doméstico y el industrial (59), por lo que el reto principal que encara la humanidad es producir más alimentos con menos agua. Lo anterior es el encuadre de este trabajo, ya que la eficiencia y productividad física, económica y social del agua usada por la agricultura es clave a largo plazo en la sostenibilidad en la cual debe circunscribirse la producción de alimentos.

Esta meta puede lograrse solamente si se determinan estrategias apropiadas para salvar al agua y hacer más eficiente su uso en la agricultura. Una de las estrategias es la de incrementar la productividad del agua (34). El concepto de la productividad del agua fue establecido ya en 1966 por Viets restringiéndole al ámbito fisiológico, en 2003 Kijne *et al.*, lo aplican como una medida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento, pero no es sino hasta 2010

que Molden *et al.* le definen de manera explícita como: "La productividad del agua es la proporción de los beneficios netos de los sistemas agrícolas, forestales, pesqueros, ganaderos y agrícolas mixtos a la cantidad de agua utilizada para producir esos beneficios. En su sentido más amplio, refleja los objetivos de producir más alimentos, ingresos, medios de subsistencia y beneficios ecológicos a un menor costo social y ambiental por unidad de agua consumida.

La productividad física del agua se define como la relación entre la producción agrícola y la cantidad de agua consumida -"más cultivo por gota"- y la productividad económica del agua se define como el valor derivado por unidad de agua utilizada y esto también se ha utilizado para relacionar el agua uso en la agricultura para la nutrición, el empleo, el bienestar y el medio ambiente".

Revisión del estado actual de la eficiencia del agua

Con base en lo anterior, Ríos *et al.* diferenciaron y aplicaron los índices de productividad y eficiencia del agua al ámbito de los forrajes (44), nogal (48), durazno (45) y trigo (46) y frijol (49), diferenciando así los índices de "productividad" y "eficiencia" (48) que tienen diferente connotación:

$$Productividad = \frac{Cantidad\ de\ producto}{Unidad\ de\ agua}$$

$$Eficiencia = \frac{Cantidad\ de\ agua}{Unidad\ de\ producto}$$

Así, la productividad del agua es un cociente, en el que en el numerador va la cantidad de producto físico, económico o social, mismo que se divide entre el volumen de agua que le dio origen tal como Molden (2010) lo sugiere, mientras

que un índice de eficiencia en el uso del agua sería el inverso del índice de productividad, es decir, que en el numerador va la cantidad de agua usada y en el denominador la cantidad de producto físico, económico o social obtenido, el primero se expresa en kg m⁻³ y el segundo en m³ kg⁻¹.

En la práctica se utiliza como una herramienta de diagnóstico para determinar la eficiencia del uso del agua, y como punto de partida para determinar oportunidades de redistribución de agua hacia cultivos más redituables.

Seckler *et al.* (1998), indica que la productividad económica del agua se refiere al valor total o valor neto dividido entre la cantidad de agua aplicada o asignada, el cual puede ser empleado para definir los costos de oportunidad o usos alternativos del agua, en este sentido Ríos *et al.* (46, 47, 48, 50) generaron indicadores de eficiencia y productividad física, económica y social del agua usada en la producción de diversos cultivos.

En el caso de los forrajes (46) en el DR017 en el norte de México, y seleccionando los más eficientes en el uso del agua determinaron diversos escenarios, resaltando que era posible crear patrones agrícolas que podrían disminuir el volumen de agua usada en la producción hasta en 47%, equivalente a 492 millones de m³ (volumen casi igual al volumen de sobreexplotación actual) y solo disminuir 2,5% (US\$ 3,4 millones) el valor de la producción agrícola y 9% (469 empleos) el empleo. O bien, elevar 30,6% (US\$ 42,1 millones) el valor de la producción agrícola, incrementar 90,4% (US\$ 38,7 millones) las ganancias y 13% (656 empleos) el empleo, pero con un costo de oportunidad ecológico elevado: incrementar 26% (273 millones de m³) el volumen de agua usado en la producción.

El estado actual acerca del conocimiento de la eficiencia física, económica y social del agua, mediante la generación de indicadores, permite optimizar el agua a la vez que se maximizan el valor de la producción, las ganancias y el empleo.

El concepto de huella hídrica fue introducido por primera vez por Hoekstra y Chapagain (2004) en el Instituto para Educación en Agua de la UNESCO en 2004, y fue luego desarrollado por la Universidad de Twente en los Países Bajos y por la Red de Huella Hídrica (WFN por sus siglas en inglés). La huella hídrica fue propuesta como un indicador alternativo a la medición de la eficiencia del uso de agua, así como para ilustrar los flujos virtuales de agua hacia dentro y fuera de los países con el fin de comprender los requisitos directos y de suministro de agua necesarios para mantener el consumo de un país (66).

China, con 735 mil Toneladas Métricas, equivalente al 88,8% de la producción mundial es el principal productor de espárrago en el mundo, Perú el segundo productor concentra el 4,6% de la producción mundial con 376,7 miles de TM (58). En relación con el espárrago de Perú, Salazar (2012) señala que "el promedio anual del volumen de agua que usan las empresas agroexportadoras para su riego es de 15 mil metros cúbicos (m^3) por hectárea, y en otros casos el consumo aumenta a 22 mil m^3 de agua. "En la última década Perú ha tenido una notoria expansión en este cultivo, pero su elevada huella hídrica de $5031,86 m^3 t^{-1}$ (15), ha originado, de acuerdo con Salazar (2012), que entre 1990 y 2008 la producción pasase de 5 a 125 millones de $kg año^{-1}$, pero el costo de oportunidad ha sido que el manto freático descendiera de 28 a 37 m bajo de la superficie en los Valles de Ica y Villacurí, principales zonas productoras, por ello es que el autor titula a su

obra "El secreto del boom del espárrago: es la sobreexplotación del agua", ya que "en 2009 la explotación del acuífero en Ica alcanzaba 543,15 millones de metros cúbicos (MMC) anuales, mientras el volumen de explotación sustentable -el que permite la recarga del acuífero-, según la ANA, es de solo 252,99 MMC; esto significa que hay una sobreexplotación de 290,16 MMC de agua", añade que: "Se recomienda producir donde el agua es abundante y vender donde el agua es escasa. Ya se están desarrollando iniciativas para etiquetar los bienes ofrecidos a los consumidores en países como España y el Reino Unido, indicando cuánta agua ha sido utilizada en su producción. No sería extraño que, en unos años, los espárragos o uvas peruanos estén obligados a llevar esta etiqueta, pues existe una mayor preocupación de los consumidores de los países de destino de las exportaciones acerca del impacto medioambiental de sus decisiones de compra, y sobre el futuro de los recursos hídricos en países como el Perú".

En otros cultivos, como el maíz (*Zea mays*) del centro y noreste argentino Álvarez *et al.* (2016) señalan que el riego y la fertilización reducen la huella hídrica, determinando índices promedio de 803, 602 y 488 hasta 803 $L kg^{-1}$, dependiendo de si el maíz es producido bajo secano, riego y riego óptimo con fertilidad edáfica óptima respectivamente, lo cual es criticable en tanto son promedios aritméticos para las huellas hídricas de diez locaciones, y debió estimarse esa huella hídrica mediante promedio ponderado, ya que al tener diferentes superficies cosechadas en cada una de las diez locaciones, así como tener diferentes rendimientos por hectárea y diferentes índices de eficiencia de conducción de la red hidráulica, la huella hídrica promedio aritmético es diferente a la promedio ponderado.

México es el tercer país productor de espárrago (10), de acuerdo con el SIAP (2015) con 22.231 ha cosechadas y 198 mil 75 TM producidas, ocupó el 2,4% de la producción mundial. Sonora es el principal estado productor de México, al contribuir con 56,2% y 62,2% respectivamente para la superficie cosechada y la producción nacional respectivamente. En Sonora, el espárrago usa 20 mil m³ ha⁻¹, (tabla 1), no hay estudios sobre la productividad física, económica y social del agua en espárrago, mucho menos sobre su efecto depredador en el escaso recurso hídrico, tal como ha señalado Salazar (2012) para el Perú, en el DR041 Río Yaqui, en el mismo estado de Sonora, de acuerdo con Olmedo *et al.* (2017 a), el establecimiento de una agricultura intensiva aunado a una prolongada sequía colapsó las presas y la actividad agrícola en 2002-2003, lo que puso de relieve una agricultura no sustentable, por lo que la optimización del agua de riego se convirtió en un tema central para ese distrito.

Lo anterior fue el motivo del presente trabajo: indagar sobre la productividad física, económica y social del agua de riego en el cultivo de espárrago, contrastándole con la vid, y así generar indicadores numéricos que en principio señalen la eficiencia con que usa el agua, pero sobre todo, indicadores que aporten datos sobre la posible sobre explotación del agua.

De acuerdo con González *et al.* (2011), el manejo del agua basado en parámetros de productividad puede mejorar su uso y contribuir a su ahorro en aquellos sistemas donde se consume cantidades excesivas de agua. No existe solo una definición de productividad agrícola del agua y el valor considerado en el numerador depende del enfoque y del tipo de trabajo que se realice, así como de la disponibilidad de datos. Sin embargo, la productividad del agua en términos físicos (kg m⁻³), vista como la cantidad de producto generada por unidad de agua es un concepto útil cuando se compara la productividad del agua en

Tabla 1. Productividad del agua de algunos cultivos en el mundo.

Table 1. Water productivity from someone crops in the world.

Cultivo	kg m ⁻³	Productividad económica	País	Fuente
Alfalfa verde	3,79	0,05 US\$ m ⁻³	México	Ríos <i>et al.</i> (2015)
Algodón	1,04	0,23 € m ⁻³	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Arroz	0,39-0,52	Sd	Mundial	Kijne <i>et al.</i> (2003)
Arroz	0,17-0,38	Sd	Pakistán	Ahmad, Masih y Turrall (2004)
Arroz	0,81	0,42 € m ⁻³	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Avena forrajera	2,42	0,07 US\$ m ⁻³	México	Ríos <i>et al.</i> (2015)
Comino	0,27-0,31	Sd	India	Rao <i>et al.</i> (2010)
Fresa	0,05	21,4 € m ⁻³	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Frijol	0,93	Sd	Cuba	López <i>et al.</i> (2011)
Girasol	1,23	0,25 € m ⁻³	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Maíz criollo	0,68-1,4	Sd	México	Rojas <i>et al.</i> (2013)
Maíz forrajero	5,28	0,07 US\$ m ⁻³	México	Ríos <i>et al.</i> (2015)
Maíz grano	0,38	0,42 € m ⁻³	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Olivo	0,39	0,97 € m ⁻³	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Trigo	0,78-2,03		Pakistán	Ahmad, Masih y Turrall (2004)
Trigo	1,49-3,11		México	Ríos <i>et al.</i> (2016)

Fuente: Elaboración propia. / Source: Own elaboration.

diferentes partes del mismo sistema o cuenca y también cuando se compara la productividad del agua en la agricultura con otros usos posibles del agua (12), con la ganadería por ejemplo.

Carrasco, Pistón y Berbel (2010) indican que para entender el desarrollo de la agricultura de riego en una determinada región es necesario estudiar la evolución de la productividad del agua en los cultivos de regadío, ya que estos resultados mostrarán si existe o no una disminución en el consumo de agua por hectárea y si los cambios en el patrón de cultivos y otras tecnologías (semillas mejoradas y/o sistemas de riego) podrían incrementar la productividad del agua y hacer más eficiente el uso del recurso.

Asimismo de acuerdo con González-Robaina *et al.* (2015), para el mejor uso económico y social del agua se requieren de métodos para evaluar su productividad, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias de utilización de manera sostenible. Los administradores del agua para el riego necesitan identificar tendencias en los patrones de uso y niveles de eficiencia con vistas a fijar metas y mejorar la productividad por unidad de volumen utilizado y/o consumido.

En este sentido existen muchos trabajos realizados para distintas regiones del mundo o a escala global, indicando la productividad agrícola en términos físicos (kg m^{-3}) y económicos ($\$ \text{m}^{-3}$), para una variedad de cultivos dentro de las que se incluyen; cereales, frutales, aromáticas, industriales y forrajeras (tabla 1, pág. 105).

La variabilidad en la productividad del agua según Zwart y Bastiaanssen (2004), son atribuibles al clima, manejo del agua de riego, así como el aporte de nutrientes al suelo. Asimismo, Molden *et al.* (2010), menciona que los diferentes ambientes y las condiciones de manejo tienen un efecto

directo sobre el rendimiento del cultivo así como sobre el consumo de agua, por lo que la productividad del agua es variable de una región a otra, incluso de una parcela a otra aun cuando se produzca el mismo cultivo, como se observa en la tabla 1 (pág. 105).

El incremento de la productividad del agua es particularmente importante en regiones donde el recurso es escaso (29). En este sentido en la Región noroeste de México el 83,9% del agua dulce disponible se emplea para la agricultura (41), aunado a que, de acuerdo con Reyes y Quintero (2009), el uso irracional de los recursos hidrológicos ha provocado fuertes problemas ambientales, particularmente en el estado de Sonora, donde se encuentra el Distrito de Riego analizado.

Entre 2002 y 2012 el inventario de aguas superficiales y subterráneas varió de 816 a 926 $\text{hm}^3/\text{año}$, pero la demanda de agua creció de 1.053 a 1.372 $\text{hm}^3/\text{año}$, lo que elevó el déficit hídrico de 237 a 446 $\text{hm}^3/\text{año}$, incrementando así el agotamiento de los acuíferos, su contaminación y salinización del agua. Por ello se han observado cambios importantes en el patrón de cultivos de Caborca, principalmente orientado hacia cultivos con mayor margen de utilidad (7), lo cual no soluciona la sobreexplotación del acuífero, de hecho, cultivos como el espárrago que demandan de 2.000 a 2.400 m^3 por ha exacerban la extracción de aguas subterráneas, agravando el principal problema socioeconómico de Cabora-Altar-Pitiquito: la escasez de agua. De esta forma, cultivos como algodón y trigo eran anteriormente, los más importantes para la región. Si bien se los sigue cosechando, su superficie ha sido reducida, ocupando su lugar cultivos más rentables: el espárrago, la vid y el olivo (8), pero ante este cambio en el patrón de cultivos, el déficit de agua se ha elevado.

El índice de eficiencia de conducción hidráulica "EC" del agua de riego, es un índice mayor a cero y menor a la unidad, SIAP le define implícitamente como la cantidad de agua extraída de una fuente "A" (una presa por ejemplo) para irrigar una parcela "B" distante a varios km de "A", de manera tal que el índice se obtiene al dividir el volumen extraído entre el volumen que llegó a la parcela.

En el DR017 en La Comarca Lagunera, SIAP (2014) señala que entre 1970 y 2013, en La Comarca Lagunera, México, la EC fue en promedio igual a 0,6805 (con variaciones desde 0,51 hasta 0,81), es decir, que por cada m³ de agua soltado, corriente arriba en la Presa Lázaro Cárdenas, llegaron a la parte baja de la cuenca, 220 km corriente abajo, solamente 680,5 litros.

Cuando es un riego altamente tecnificado como aspersión, cintilla, micro-compuertas y la fuente de agua es un pozo que extrae agua subterránea, EC se acerca a la unidad, si es riego poco tecnificado con agua de ríos, presas o lagos y la zona agrícola es muy distante, EC es más pequeño y tendiente a cero.

Estudios previos demuestran que el cultivo de trigo en Ensenada, Baja California, al Oeste de Sonora, muestran que un m³ de agua produjo 0,321 kg en términos físicos, una pérdida de MX\$ 1,51 (MX\$ es la denominación para "pesos mexicanos" en el contexto del comercio mundial) y generó solamente 0,025 empleos hm⁻³ de acuerdo con Ríos *et al.* (2016), Insunza (2008) determinó que en el DR075 Río Fuerte, Sinaloa, al sur de Sonora, el mismo m³ de agua produjo 0,17 kg si se irrigaba en algodón y 0,40 kg si se usaba en trigo. Asimismo, ese mismo m³ produjo MX\$ 0,147 de ganancia en algodón y MX\$ 0,139 en trigo; en España, Montesinos *et al.* (2011) determinó 0,23€ m⁻³ de productividad económica para el cultivo de algodón, muy superior

a lo determinado por Insunza (2008) para el DR075 de Río Fuerte.

Actualmente el 61,26% de la superficie agrícola de ese Distrito de riego se encuentra establecido con espárrago, vid y olivo (50). Sin embargo, el problema de la escasez del agua en Sonora de acuerdo con Wilder (2002) son el resultado de una compleja combinación de factores, incluyendo los naturales como la sequía y la variabilidad del clima, además de los factores estructurales tales como el fomento de la producción de cultivos rentables con láminas de riego altas, dado que estos cultivos tienen como destino el mercado estadounidense.

De acuerdo con el INIFAP (2010), la lámina de riego para el cultivo de vid con riego por cintilla es de 1,0 m, mientras que en el espárrago la lámina neta es de 2,0 m.

Por ello el objetivo de este trabajo fue determinar indicadores numéricos de la eficiencia física, económica y social del agua de riego en el cultivo de espárrago y contrastarle el cultivo de vid en el Distrito de Riego 037. La primera hipótesis fue que la eficiencia física (m³ kg⁻¹) del agua en el cultivo de vid es superior al espárrago, la segunda hipótesis fue que la eficiencia económica (US\$ de ganancia hm⁻³) del agua en el cultivo de espárrago fue superior al de vid, la tercera hipótesis fue que la eficiencia social del agua de riego (empleos hm⁻³) es superior en espárrago que en vid.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue el Distrito de Riego 037, Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, México. Se localiza entre los meridianos 111°29' y 113°08' longitud oeste, y paralelos 29°54' y 31°22' latitud norte, a una altura que varía entre 10 a 400 m s. n. m. (figura 1, pág. 108).



Figura 1. Localización del área del DR037, Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, México.

Figure 1. Location área DR037, Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, México.

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1981) el tipo de clima es seco estepario BS, KW (x') (8e'). La temperatura media anual es de 21,2°, con precipitación media anual de 269 mm, con evaporación media de 2.346 mm (7). La extracción anual para uso agrícola es de 500 Millones de metros cúbicos (Mm³), para el riego de 35.000 hectáreas ha provocado un serio problema de sobreexplotación de los acuíferos.

La Agenda Técnica Agrícola de Sonora (2015), señala que el espárrago es uno de los pilares económicos de la región de Caborca, Sonora, con más de siete mil hectáreas. Destaca su importancia económica y social, señala que la eficiencia económica del agua de riego se estima en MX\$ 1,2 m⁻³, y socialmente produce 185 jornales ha⁻¹, pero usa mucha agua: de 2 a 2,4 m de lámina anual de riego, lo cual puede reducirse con riegos presurizados, siendo las variedades más usuales la Brock, UC-157, UC-115, Atlas, Early California y la Jaleo. Con densidades desde 1,5 a 5 kg ha⁻¹ si se siembra como semilla y de 3 a 4 coronas por metro a doble hilera cuando se trasplanta, requiriéndose de 200 a 400 kg de Nitrógeno, de 100 a 150 kg de Fósforo y de 100 a 150 kg de Potasio por hectárea. En cuanto al riego,

la fuente registra que se recomienda riego por goteo y que las principales plagas son el pulgón europeo, la chicharra cantadora, el gusano soldado, chinche apestosa, araña roja y trips, la cosecha es diaria, iniciando la última semana de diciembre y hasta la segunda semana de abril.

En relación con la vid, en Caborca, Sonora los cultivares de uva de mesa son la Perlette, Flame, Superior y la Red globe, iniciando la cosecha desde la primera semana de mayo (Perlette) y hasta la primera semana de junio (Red globe). Para la poda, del 15 de diciembre al 15 de marzo, se usa cianamida de hidrógeno, el aclareo puede ser manual o químico con ácido giberélico, la fertilización se hace en las etapas de brotación- floración, floración- envero, envero cosecha y cosecha-caída de hojas, con 120-150 kg de N, 110 kg de P, 140 kg de K, 25 kg de Ca y 25 kg de Mg. En riego por goteo con goteros autocompensados separados entre 0,50 a 1 m, la lámina de riego es de 90 a 100 cm. Las principales plagas son la Chicharrita de la vid, gusano presidiario, trips y piojo harinoso *Planococcus ficus*; las principales enfermedades son la cenicilla polvorienta, la pudrición negra, mildiu veloso y la pudrición texana (1).

La disponibilidad del agua para riego ha disminuido, en 1999 a través de 887 pozos, el volumen de extracción anual era de 660,10 Mm³, del cual 648,70 Mm³, se empleaban para uso agrícola (98,27%), 9,8 Mm³ para uso público, 1,50 Mm³ para uso doméstico, y 0,10 Mm³ para uso industrial (44). Se calcula que los niveles estáticos variaron de 43 m en 1970 a 67 m en el 2001, sin embargo en ese mismo año se determinaron profundidades estáticas mayores a los 120 m y dinámicas mayores a los 140 m (25), además, se tiene una descarga de 3,5 Mm³ de aguas negras a tierras agrícolas (62).

Variables dependientes e independientes

Con las cifras de superficie cosechada "SC", producción física "PF", Valor Bruto de la Producción "VBP" y costos de producción "C" por ha, número de jornales "J" por ha y lámina de riego "LR" de FIRA 2014 y la paridad cambiaria "PC" del Banco de México, se obtuvieron las variables *independientes*: "RF" (rendimiento físico por hectárea), "V" (volumen de agua empleado por el cultivo por hectárea), "p" (precio por t), "U" (Utilidad o ganancia bruta por hectárea) y "E" (empleo generado por el cultivo) de las que dependieron las seis variables *dependientes* evaluadas en este trabajo (los indicadores de productividad y eficiencia del agua Y₁ a Y₆).

El rendimiento físico "RF" relaciona a la producción física (PF) entre la superficie cosechada (SC):

$$RF = \frac{PF}{SC}$$

RF, y se expresa en tonelada o kg por hectárea, el volumen "V" de agua por hectárea (en m³) demandado por el cultivo a escala comercial, "V" depende de LR y EC, dado que:

$$V = 10,000 m^2 \left(\frac{LR}{EC} \right) = 10^4 (LR)(EC)^{-1}$$

donde:

"EC"= eficiencia de conducción hidráulica de la red de distribución (0 < EC < 1)

La utilidad "U" por hectárea (expresada en US\$ ha⁻¹) si bien es una variable independiente de la que dependen las variables Y₃, Y₄ y Y₅, a su vez ella depende de tres variables que actúan independientemente: RF, p, y el costo por hectárea "C", ya que:

$$U = RF (p) - C$$

donde:

"C" = variable independiente de las que dependen algunas de las variables evaluadas en este trabajo, es a su vez dependiente de dos variables independientes: los costos variables (dependientes a su vez de los costos de: fertilización, labores culturales, costo del riego o costo de extracción del agua del subsuelo, control de plagas, malezas y enfermedades, cosecha-selección y empaque, comercialización, diversos, y costos financieros) y los costos fijos (dependientes a su vez de los costos de amortización de bienes de capital y renta del suelo); la variable independiente del empleo "E" generado por el cultivo aparece en la variable dependiente Y₆ (empleo por hectómetro cúbico) donde "E" proviene de multiplicar la cantidad de jornales "J" por hectárea por la superficie cosechada SC dividido todo ello entre 288 (el cual es el producto de multiplicar 6 jornadas por semana por 48 semanas al año), es decir:

$$E = \frac{SC(J)}{288}$$

Si se alude a una hectárea solamente, entonces SC es igual a la unidad.

Indicadores de eficiencia y productividad

La naturaleza de este trabajo es cuantitativo-descriptiva, no experimental, ya que se emplearon datos cuantitativos provenientes de la producción a escala comercial, tal como rendimientos físicos por hectárea, el volumen de agua empleado realmente por hectárea y láminas de riego empleadas por los productores agrícolas, refleja la eficiencia y productividad del uso del agua, a diferencia de los datos experimentales que serían solamente de carácter indicativo. Por ejemplo, en La Comarca Lagunera, al norte de México, el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) recomienda para el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) una lámina de riego de 1,2 m, pero usualmente en esa región, los productores riegan de acuerdo con su experiencia aplicando láminas que sobrepasan los 2 m, con lo que el volumen de agua empleado por hectárea se dispara de 12.000 m³ recomendados por INIFAP hasta los 20 a 24 miles de m³ realmente empleados por ha por el productor.

Aplicando las ecuaciones Y¹ a Y⁶ determinadas por Ríos et al. (2015), se tiene que la primera variable evaluada, la Y₁, mide la eficiencia con que se usa el agua de riego, que se expresa en litros de agua empleados en el riego por kilogramo de uva o espárrago producidos, y depende de las variables independientes "V", RF, LR y EC, donde "V" es el volumen de agua que representa la demanda hídrica del cultivo en una hectárea (en litros), V es el producto de 10.000 m² por la lámina de riego "LR" (LR es la columna de agua, en metros, que demanda el cultivo en una producción a escala comercial, convertidos los m³ a litros) dividida entre el coeficiente de eficiencia hidráulica de conducción "EC" (en porcentaje, en base 1), y "RF" es el rendimiento físico por hectárea del cultivo (en kg).

$$\gamma_1 = \frac{V}{RF} = \frac{10.000 \left(\frac{LR}{EC} \right)}{RF} = 10^4 (LR)(EC)^{-1} (RF)^{-1} \quad (1)$$

La variable Y₂, es una variable dependiente que a pesar de depender de las mismas variables independientes que Y₁, al ser su inversa, tiene connotación diferente, es de índole de productividad del agua, no de eficiencia, expresa la cantidad de kilogramos producidos de uva o espárrago por m³ de agua irrigada.

$$\gamma_2 = \frac{RF}{10.000 \left(\frac{LR}{EC} \right)} = (10^{-4}) RF \left(\frac{LR}{EC} \right) \quad (2)$$

La variable dependiente Y₃, representa la relación entre la utilidad monetaria o ganancia "U" bruta por hectárea y el volumen "V" de agua empleado en su generación. Y₃ depende de las variables U y V. El numerador es la utilidad bruta "U" generada por el cultivo, igual al rendimiento monetario "RM" por ha menos el costo "c" por ha. RM es el producto del rendimiento físico "RF" por ha por el precio "p" por t. El denominador de esta ecuación es el mismo numerador que se señala en la ecuación Y₁. Esta variable es expresada en US\$ generados de ganancia por m³ de agua irrigada.

$$\gamma_3 = \frac{U}{V} = \frac{RM - C}{10.000 \left(\frac{LR}{EC} \right)} = \frac{RF}{10.000 \left(\frac{LR}{EC} \right)} \quad (3)$$

La variable Y₄ es la inversa de la variable Y₃, tiene un significado diferente, ya que es un indicador de eficiencia económica del agua, se expresa en m³ de agua irrigada por cada US\$ de utilidad.

$$\gamma_4 = \frac{10.000 \left(\frac{LR}{EC} \right)}{U} = 10.000 \left(\frac{LR}{EC} \right) (RF(p) - C)^{-1} \quad (4)$$

La variable dependiente Y_5 es la división de Y_4 , entre el costo en el cual incurre el productor por la extracción del subsuelo de cada m^3 de agua ($C m^{-3}$), es señalado como precio del m^3 de agua. Expresada como un índice positivo mayor, menor o igual a la unidad. Donde mayor a 1 indica que la utilidad generada por m^3 , es superior a lo que el productor pagó por cada m^3 de agua extraída del subsuelo, y menor a 1 señala que la utilidad generada es inferior al costo del metro cúbico de agua.

$$\gamma_5 = \frac{Y_4}{C m^{-3}} \quad (5)$$

La variable Y_5 , en tanto trata de un recurso común o comunal, el agua subterránea. El consumo de agua subterránea puede generar externalidades ambientales, en tanto se fija un precio al agua, mediante el costo de su extracción del subsuelo, pero la *apropiación* del beneficio logrado con ese bien eminentemente social es de carácter *privado*. Paradójicamente, al llegar a formularse una medida de política económica encaminada a fijar un precio al agua extraída del subsuelo, donde ese precio no solamente cubra el costo de extracción sino que además contempla una tasa impositiva para el productor que use ese bien común, con aras a elevar la eficiencia del uso imposibilitaría que los productores agrícolas pobres pudieran usar el agua. La usarían principalmente los productores ricos, ya que tendrían acceso a mejoras tecnológicas que les permitieran cubrir ese precio del agua ahora artificialmente alto.

Como indicador de la importancia social del agua, se generó la variable dependiente Y_6 , que mide el número de empleos agrícolas asociados al uso de un hm^3 (un millón de m^3) de agua empleada en el riego. Esta productividad social del agua, es propuesta

por algunos autores como la relación que existe entre el empleo y el agua consumida, utilizados en la evaluación de la eficiencia y productividad del agua (11, 12, 17). Donde el numerador es el empleo generado por cultivo asociados al uso de un hm^3 de agua usada en el riego, el cual va en el denominador. El número 288 bajo "J" en la ecuación 6, presupone que un empleo permanente equivale a 288 jornadas de trabajo al año, es decir, seis jornadas por semana por cuarenta y ocho semanas al año.

$$\gamma_6 = \frac{\left(\frac{J}{288}\right)}{(10.000)\left(\frac{LR}{EC}\right)} = \frac{25(J)EC}{72(LR)} \quad (6)$$

$$\frac{1.000.000}{1.000.000}$$

Debe observarse que J, es el número de jornales por hectárea del cultivo, tiene históricamente tendencia *decreciente* debido a la mecanización de la agricultura. Para fomentar el empleo que se asocia al uso del agua de riego, debe contrarrestarse el efecto negativo en el empleo por parte de J, mediante la elevación de la eficiencia hidráulica EC de conducción del agua de riego a la par de la *reducción* de la lámina de riego LR. Esto se lograría con acciones que van desde buenas labores culturales, manejo del suelo, uso de abonos naturales, etc., hasta el extremo de la mejora genética del cultivo, que demande menos agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contexto de la producción de espárrago y uva de mesa del DR037

De acuerdo con el SIAP (2014), la superficie cosechada del Distrito de Riego 037 durante el ciclo agrícola 2014 fue de 28.747,55 hectáreas de las cuales 8.518 (29,63%) fueron cosechadas de espárrago y 7.563 hectáreas (26,30%) de uva de mesa.

Asimismo, según CONAGUA (2015), para el riego del distrito se emplearon un total de 298,90 hm³ para la producción de un patrón de cultivos compuesto por 24 cultivos. Se determinó que el cultivo del espárrago empleó un total de 170,36 hm³ (56,99%), mientras que la uva de mesa utilizó 75,63 hm³ (25,30%), lo que indica que ambos cultivos emplean el 82,29% del agua disponible (tabla 2).

En la tabla 2 se observa que el ingreso por hectárea en espárrago fue de US\$ 22.585 y US\$ 14.233 en uva de mesa, mientras que el costo por hectárea en espárrago fue de US\$ 11.766, y en uva de mesa el costo fue US\$ 4.781 ha⁻¹. La ganancia por hectárea

determinada para el cultivo de espárrago fue de US\$ 10.818, lo cual indica que el espárrago obtuvo una ganancia 14,5% superior a la ganancia que generó el cultivo de uva de mesa. De acuerdo con la tabla 2, la Relación Beneficio Costo (R B/C) muestra que en espárrago el indicador fue 1,92 y 2,98 en el cultivo de uva de mesa, lo que indica que ambos cultivos resultan rentables en esa región.

Asimismo, la tabla 2, muestra la cantidad de jornales invertidos por hectárea en ambos cultivos, mientras en uva de mesa se requirieron un total de 30,89 jornales ha⁻¹, en espárrago se emplearon un total de 280 jornales, de los cuales el 75,71% se emplean en actividades de cosecha,

Tabla 2. Relación Beneficio-Costo (R B/C), horas de trabajo por tonelada, empleo generado y volumen de agua empleado en el riego de espárrago y uva de mesa.

Table 2. Relationship Benefit-Cost (B/C R), hours of work per t, generated employment and volume of water used in irrigation of asparagus and grape fruit.

Variables	Vid mesa	Espárrago	Espárrago/ Vid mesa
Superficie cosechada (ha)	7.563	8.518,0	1,13
Producción anual (t)	67.946	82.093,0	1,21
Rendimiento (t ha ⁻¹)	16,00	9,64	0,60
Precio medio (US\$ t ⁻¹)	\$ 890	\$ 2.343	2,63
Ingreso ha ⁻¹ (US\$)	\$ 14.233	\$ 22.585	1,59
Costo ha ⁻¹ (US\$)	\$ 4,781	\$ 11.766	2,46
Ganancia ha ⁻¹ (US\$)	\$ 9,452	\$ 10.818	1,14
Relación Beneficio/Costo	2,98	1,92	0,64
Numero de jornales ha ⁻¹	30,89	280	9,06
Productividad (t jornada ⁻¹)	0,518	0,034	0,07
Costo t ⁻¹ (US\$)	\$ 299	\$ 1.221	4,09
Ganancia jornada ⁻¹ (US\$)	\$ 306	\$ 39	0,13
Lámina de riego neta (m)	1,00	2,00	2,00
Volumen de agua empleado (hm ³)	75,63	170,36	2,25
Ganancia monetaria total (Millones de US\$)	\$ 71,48	\$ 92,15	1,29
Total, de jornales al año	233.621	2.385.040	10,21
Número de empleos permanentes	811	8.281	10,21
Capital invertido en la producción (Millones de US\$)	\$ 36,16	\$ 100,22	2,77

Fuente: Elaboración propia con base en cifras de costos de producción por ha y lámina de riego a nivel comercial (de 1.0 m para vid y 2.0 m para espárrago) de FIRA (2014), y cifras de superficie cosechada, producción, rendimientos físicos por ha, precios por t, número de jornales por ha de SIAP (2014), y paridad cambiaria MX\$ 16,1745 por dólar norteamericano del Banco de México al día 8 de agosto de 2015 a 17:20 horas.

Source: Own elaboration, based on cost production per hectare figures and commercial irrigation sheet (1.0 m for grapevine and 2.0 m for asparagus) from FIRA (2014), and figures of harvested area, production, physical yields per ha, prices per t, number of work journal per ha of SIAP (2014), and parity exchange MX\$ 16,1745 per US dollar determined by Bank of Mexico on august 8, 2015 at 5:20 p.m.

selección y empaque. Esta disparidad entre los jornales que requiere cada cultivo produjo una diferencia en cuanto a la productividad, mientras en uva de mesa se generaban 0,518 t jornada⁻¹ y US\$ 306 de ganancia jornada⁻¹, en espárrago se obtuvieron 0,034 t jornada⁻¹ y US\$ 39 de ganancia jornada⁻¹.

Costos de producción de los cultivos de espárrago y uva de mesa en el DR037

La tabla 3 muestra el resumen del costo total por ha desagregado en sus dos componentes: los costos variables y los costos fijos. El análisis porcentual de los costos variables (fertilización, labores culturales, riego, control de plagas-malezas-enfermedades, cosecha-selección-empaque, comercialización, diversos y costo financiero) y costos fijos (depreciación de maquinaria y equipo y renta del suelo). Muestra que los costos variables fueron de 67,5 y 86,2% y los costos fijos 32,5 y 13,8% en uva y espárrago respectivamente.

Los costos de cosecha-selección-empaque y fertilización fueron los más importantes en espárrago (44,6%), en vid lo fue la fertilización (22,1%). El rubro de riego, que contempla el agua usada en la producción, fue relativamente de los más bajos: 15,5% en vid y 10,6% en espárrago. En el espárrago, por sí solo, el rubro de cosecha-selección-empaque representó 33%, la causa es que emplea mucha mano de obra: en esta etapa se emplearon 202 de los 280 jornales que se requieren en total. En este sentido Rodríguez *et al.* (2014), mencionan que la variable más relevante en el costo total correspondiente a la producción de espárragos orgánicos en Chile, es la mano de obra, la cual representa un 71,5 % del costo total anual, mientras que en uva encontraron que el costo de la mano de obra representó 43,6% del total.

Asimismo, en la tabla 3, se indica que en términos relativos, el costo del riego en el espárrago fue bajo: 10,6%, en uva de mesa representó el 15,5% del total. A pesar de la importancia que tiene el agua para esta región árida en el análisis de los costos de producción se observa, ahora en términos absolutos, que el precio del m³ en ambos cultivos, US\$ 0,06 en espárrago y US\$ 0,07 en uva de mesa (tabla 3).

Al comparar con otros cultivos en México estos precios/m³ fueron superiores a los determinados por Ríos *et al.* (2015) en la Comarca Lagunera para un grupo de cultivos forrajeros en los cuales, el precio promedio por m³ fue de US\$ 0,02 m⁻³, oscilando de US\$ 0,02 m⁻³ en avena forrajera hasta US\$ 0,03 m⁻³ en *rye grass*. Asimismo, Ríos *et al.* (2015) en el cultivo de durazno criollo determinaron un índice igual a MN \$ 0,40 m⁻³ (equivalente a US\$ 0,024), en Zacatecas, México, mientras que para el cultivo de trigo grano en el Valle de Mexicali, Baja California Ríos *et al.* (2016) determinaron un precio por metro igual a US\$ 0,012 m⁻³.

Tabla 3. Costos por hectárea de espárrago y uva de mesa (pérgola sin empaque) irrigados por cintilla en el DR037, Caborca, Sonora. Cifras en dólares americanos US\$.

Table 3. Cost per hectare of asparagus and grape fruit (pergola unpackaged) irrigated by strap on the DR037, Caborca, Sonora. Amounts in Dollars US\$.

Concepto	Uva de mesa	Espárrago
Costos variables	\$ 3.229,00	\$ 10.148,00
Costos fijos	\$ 1.552,00	\$ 1.618,00
Costo total por hectárea	\$ 4.781,00	\$11.766,00
Precio del m ³ de agua al productor	\$ 0,07	\$0,06

Fuente: Elaboración propia, con base en cifras de FIRA (2014).

Source: Own elaboration, based on dates from FIRA (2014).

Al comparar el precio/m³ del agua en espárrago de Caborca con el precio/m³ del agua usada en espárrago en otras partes del mundo, fueron *inferiores*. Los productores de espárrago estadounidenses pagan US\$ 0,78 m⁻³ empleado en el riego (24), en la región del Ica, Perú el costo es de US\$ 0,25 m⁻³, en la Libertad en Perú, el costo es de apenas \$ 0,018 m⁻³ (31).

Porotrolado, usuarios de tipo doméstico pagan entre US\$ 0,30-US\$ 0,80 m⁻³ (2004), mientras los agricultores de Israel pagan US\$ 0,57 m⁻³, lo que evidencia que el precio del m³ de agua en el DR0-037 es bajo en relación con los señalados. De acuerdo con Takele y Kallenbch (2001), los precios del agua son importantes para la mejora de la demanda y de la conservación de este recurso. En este sentido Ramírez-Vallejo y Rogers (2010), indican que el Tratado de Libre Comercio (NAFTA) firmado entre México y Estados Unidos propició la exportación de agua virtual de las zonas áridas y semiáridas de México hacia USA.

Al establecer líneas atrás, que el precio del agua en espárrago (US\$ 0,06 m⁻³) y vid (US\$ 0,07 m⁻³, tabla 3, pág. 113) es muy bajo, no es un juicio de valor, es el resultado de una *valoración por el método contingente*, el cual pretende estimar la máxima disposición a pagar de un individuo por la provisión o mejora de un bien de no mercado o, alternativamente, la mínima disposición a ser compensado por la pérdida o disminución del mismo bien, pues con base en Oyarzún *et al.* (2005).

“La medida de valor económico obtenida a través de esta función corresponde al cambio en productividad marginal del agua del estero valorado al precio de mercado del agua potable. Esto significa que el valor económico está dado por el cambio físico en producción de agua potable medida en metros cúbicos anuales, resultante de un cambio en la producción de agua del estero, que a su vez

se origina de un cambio de uso de suelo en la cuenca”. Así es permisible contrastar el precio pagado por el m³ de agua usado en el riego al producir espárrago o vid en contra del precio que, en promedio está dispuesto a pagar el consumidor urbano por el agua potable. Para el norte de México en 2008, donde un consumidor promedio pagaba US\$ 0,02745 m⁻³ (equivalente a MX\$ 4,44 m⁻³) (2008), implicando ello que el precio pagado por el agricultor por el agua que usa en el riego, es de solamente entre 21,85% y 25,50% el precio al que está dispuesto a pagar por el agua potable el consumidor urbano. Lo cual permite entender que el precio del agua es solamente uno de entre las múltiples causas de los enfrentamientos, armados incluso, que han existido en Sonora, entre los indios Yaqui, usuarios agrícolas del agua y la población urbana que quiere que el agua de las presas se destine al consumo urbano y no al consumo agrícola (4, 40, 63). En el mismo sentido, usando el método de valoración de contingencia, Ríos *et al.* (51), determinaron que mientras el agricultor productor de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Zacatecas, México, paga (en moneda de 2015) MX\$ 0,48 (US\$ 0,03) m⁻³, el consumidor urbano de agua potable paga (en moneda de 2015) por ese mismo volumen de agua hasta MX\$ 50,33 (US\$ 3,11) m⁻³.

Indicadores de productividad física, económica y social en espárrago y uva de mesa

El análisis de la productividad y eficiencia del agua se observa en la tabla 4 (pág. 115), la cual muestra los indicadores productivos, económicos y sociales. Los indicadores que evalúan la productividad y eficiencia del agua son de los índices más ampliamente empleados en una gran variedad de cultivos en España (3, 18, 54).

Tabla 4. Indicadores de la productividad y eficiencia del agua en espárrago y uva de mesa producida en el DR-037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora. Cifras monetarias en US\$.

Table 4. Indicators of productivity and efficiency of water in asparagus and grape fruit produced in the DR-037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora. Amounts in Dollars US\$.

Variable económica	Uva de mesa	Espárrago	Espárrago/ Uva
$Y_1 = L\ kg^{-1}$	625,00	2.075,00	3,32
$Y_2 = kg\ m^{-3}$	1,60	0,48	0,30
$Y_3 = Utilidad\ bruta\ hm^{-3}\ (US\$)$	\$ 945.190	\$ 540.924	0,57
$Y_4 = m^3\ por\ dólar\ de\ utilidad\ bruta$	1,058	1,849	1,75
$Y_5 = Utilidad\ bruta\ m^{-3}/Precio\ del\ m^3$	14,3	29,7	2,09
$Y_6 = Empleos\ generados\ hm^{-3}$	10,7	48,6	4,53

Fuente: Elaboración propia. / Source: Own elaboration.

En México existe escasa información al respecto, el uso eficiente y productivo del agua en la agricultura no es un tema que haya permeado, el agua, al parecer, es un recurso poco valorado, no obstante existen trabajos con indicadores de la eficiencia física, económica y social del agua de riego en cultivos como durazno (47), trigo (48), forrajes (46), nogal (50), frijol (51), cebolla (49) y chile (45).

En el presente estudio el indicador de productividad física del cultivo de espárrago fue $0,48\ kg\ m^{-3}$ (Y_1 y Y_2 de la tabla 3, pág. 113), encontrándose un índice mayor en el cultivo de uva de mesa con $1,60\ kg\ m^{-3}$, lo que muestra una mayor eficiencia de este cultivo para convertir el agua en producto físico, ya que solo empleó $625\ L\ kg^{-1}$, en comparación con el cultivo de espárrago que empleó $2.075\ L\ kg^{-1}$ (Y_1 y Y_2 de la tabla 4). Estos índices indican que la primera hipótesis de este trabajo se acepta, dado que en efecto el cultivo de vid mostró un indicador superior al del espárrago en términos físicos ($kg\ m^{-3}$). Sin embargo, los valores del índice de productividad física se ubican por debajo de los indicadores determinados por Teixeira y Bassoi (2009) quienes para la región de Petrolina, Pernambuco, Brasil, determinaron un índice igual a $2,44\ kg\ m^{-3}$ en uva de mesa. Lo que indica que, en la

región de Altar, aún deben aplicarse mejoras en la gestión del agua de riego con las cuales se incremente la productividad del agua en el cultivo de vid.

En el caso de espárrago Frimbres *et al.* (2011) determinaron un indicador para el cultivo de $0,22\ kg\ m^{-3}$ para la misma región agrícola, lo cual indica que este indicador fue 45,83 % inferior al determinado en este trabajo, la razón de tal diferencia es atribuible a que mientras en este trabajo se consideró una lámina neta de 2,0 m, en el caso de estos autores, se determinó una lámina de riego de 64 cm, lo que estaría indicando que el rendimiento de cultivo resultó seriamente afectado por la reducción de agua.

El análisis de la variable Y_3 , muestra que cada hm^3 de agua empleado en el cultivo de espárrago generó una ganancia de US\$ 540.924 dólares, mientras que el cultivo de uva de mesa produjo con ese mismo volumen de agua una ganancia de US\$ 945.190, es decir, el mismo hm^3 de agua generó en espárrago 57,22% de lo que se generó en uva de mesa, por lo que la segunda hipótesis de este trabajo se rechaza, dado que la productividad del agua en términos económicos fue superior en el cultivo uva de mesa en relación con el espárrago. Visto de otra forma, para producir un dólar de ganancia en el cultivo

de espárrago se invirtieron 1,849 m³, (equivalentes a US\$ 0,54 m⁻³) mientras en uva de mesa se utilizaron 1,06 m³ (equivalente a US\$ 0,94 m⁻³), lo que indica que el cultivo de espárrago emplea 74,7% más agua que uva de mesa para producir la misma cantidad de ganancia (tabla 4, pág. 115). Sin embargo al comparar con el mismo índice para uva de mesa en Brasil se observa que fue improductivo económicamente el uso del agua en Caborca, ya que en uva de mesa el indicador fue US\$ 6,51 m⁻³ y US\$ 0,93 m⁻³ en uva industrial (2009). Olmedo *et al.* (2017 b) determinaron que en el ciclo agrícola 2012-2013 en promedio para el DR041 Río Yaqui, Sonora, un índice de 4,89 pesos de ingreso por metro cúbico (equivalente a USD 301.709 hm³), productividad económica muy inferior a la determinada para el espárrago del DR037.

El indicador de la variable Y_s , muestra el cociente de dividir la utilidad bruta por m³ entre el precio del m³ pagado por el agricultor. Así el índice para el cultivo de espárrago fue 29,7; lo que indica que por cada dólar que el productor de espárrago pagó por concepto de agua de riego, le retornó ese dólar y US\$ 28,7 adicionales. Mientras que en uva mesa el indicador fue 14,3, lo que muestra que el productor de uva fruta recobró el dólar invertido en riego y US\$ 13,3 adicionales. En este sentido García (2015), determinó un indicador de € 11,43 m⁻³ (lo que equivale a US\$ 12,79 m⁻³ valorado a moneda de 2015), en el sistema de producción de fresa de Huelva en España. Asimismo, menciona que a escala global, la agricultura de regadío es reconocida como el sector que demanda un mayor volumen de agua, por lo que los agricultores tienen una gran responsabilidad en la conservación del recurso y es crítico que hagan un uso eficiente del mismo.

En cuanto a la eficiencia social del agua, que es la cantidad de empleos generados por hm³ de agua (Y_o), el indicador en espárrago fue 48,6 y en uva de mesa fue 10,7 empleos hm⁻³. Este indicador es alto, dado que la producción de hortalizas y frutales normalmente requieren de mayor mano de obra en actividades como la cosecha, selección y empaque al compararse con cultivos como los forrajes o los cereales. En ese sentido, Ríos *et al.* (2015), para el cultivo de durazno en Zacatecas, México determinaron un índice igual a 0,20 empleos hm⁻³, mientras para el Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera el indicador promedio para el grupo forrajero fue de 0,48 empleos hm⁻³ (2015). Por otro lado, en la producción de trigo en el Valle de Mexicali, México se determinó un índice igual a 0,025 empleos hm⁻³ (2016), lo que indica la importancia social que tiene el cultivo de uva y espárrago para la generación de empleo en la región de Caborca.

En efecto, aun cuando los indicadores de productividad indiquen que la uva mostró mejores indicadores de productividad tanto en términos físicos y económicos, es importante mencionar que la importancia social que tiene el espárrago es superior al cultivo de uva, dado que este cultivo emplea en promedio 280 jornales por hectárea mientras que la uva emplea solamente 30,89 jornales por hectárea. En efecto, el cultivo de espárrago por si solo generó 8.281 empleos permanentes en la región.

Al contrastar la eficiencia económica del agua del espárrago (US\$ 540.924 hm⁻³ \cong US\$ 0,54 m⁻³) y vid (US\$ 940.190 hm⁻³ \cong US\$ 0,94 m⁻³) del DR037 determinados en este estudio (tabla 4, pág. 115) con literatura especializada, se observa que ambos cultivos tuvieron una eficiencia económica superior al usar el agua en comparación con otros cultivos en México, como es el caso de los forrajes en el DR017.

Con US\$ 0,04 m⁻³ (46), el frijol de Zacatecas con US\$ 0,12 m⁻³ (51), el trigo de Baja California con pérdida de US\$ 0,02 m⁻³ (48), el cultivo de durazno en Zacatecas con US\$ 0,088 m⁻³ (47), el nogal pecanero del DR005 en Delicias, Chihuahua, con US\$ 0,098 m⁻³ (50), y el cultivo de chile en el DR-017 Comarca Lagunera con US\$ 0,39 m⁻³ (45) (valores monetarios de 2014). Otra hortaliza, la cebolla de otoño-invierno producida en Delicias, Chihuahua, mostró una alta eficiencia económica al usar el agua: US\$ 0,689 m⁻³ (49) siendo esta hortaliza la de eficiencia económica del agua más cercana a vid y superior al espárrago de este estudio.

En relación con la eficiencia social del agua en el cultivo de espárrago (48,6 empleos hm⁻³) y vid (10,7 empleos hm⁻³) del DR037 determinados en este estudio (tabla 4, pág. 115), con literatura especializada, al igual que con la eficiencia económica del agua, se observa que ambos cultivos tuvieron una eficiencia social por arriba de otros cultivos en México. Es el caso de los forrajes en el DR017 (46) con 0,48 empleos hm⁻³, del trigo de Baja California con 0,025 empleos hm⁻³ (48), del durazno de Zacatecas con 0,020 empleos hm⁻³ (47), del nogal pecanero del DR005 en Delicias, Chihuahua, con 0,39 empleos hm⁻³ (50), y del cultivo de chile en el DR-017 con 6.254 empleos hm⁻³ (45). La cebolla de otoño-invierno de Delicias, Chihuahua (49) manifestó ser altamente eficiente en términos sociales al usar el agua de riego, pues se le determinó un indicador de 52,05 empleos hm⁻³, al usar el agua. Esta hortaliza resultó ser más eficiente en términos sociales que el espárrago y la vid de este estudio.

Una importante implicación del uso de indicadores de la eficiencia física, económica y social del agua en la agricultura, es la generación de escenarios.

Así, entre 2000 y 2015 la superficie cosechada de espárrago en Caborca se multiplicó por 1,41, de 5.886 a 8.588 ha, pero la producción se cuadruplicó al ir de 23,86 a 87,25 miles de t, al multiplicar la producción por la huella hídrica física de 2.075 L kg⁻¹ (tabla 4, pág. 115) se obtiene el volumen de agua usado en esa producción, el cual aumentó 131,52 hm³, al ir de 49,52 a 181,04 hm³. CONAGUA (2017) señala para abril de 2015, que el VCAS (volumen concesionado de aguas subterráneas) del acuífero de Caborca es de 302,835012 hm³, que la recarga natural "R" es de 212,9 hm³, por lo que el déficit actual (igual a VCAS-R) es de 89,935012 hm³, pero si la producción de espárragos sigue creciendo, el déficit de agua en el acuífero de Caborca, y de todo el estado, seguiría aumentando, elevando el VCAS, y como la recarga suele ser más o menos fija, implica que el déficit de agua subterránea en Caborca y en todo el estado de Sonora, seguiría aumentado, tornando insustentable la producción de espárrago en el largo plazo.

CONCLUSIONES

Este trabajo forma parte de una línea de investigación de la eficiencia y productividad del agua en el Norte de México. Es de interés para la comunidad científica y de importancia para los órganos decisores ya que aporta un diagnóstico regional de la producción de espárrago y uva, lo cual contribuirá a la toma de decisiones en relación con la sostenibilidad integral de la agricultura de riego a través del otorgamiento de nuevas concesiones de derechos de agua, ampliación de la frontera agrícola, reconversión de cultivos, reasignación del agua, así como la implementación de programas que apoyen la tecnificación de las áreas de regadío.

Indudablemente, el sector agrícola requiere de agua para producir los alimentos necesarios para subsistir, sin embargo el reto que la humanidad encara es el de producir más alimento con menos agua para una población creciente, considerando que la frontera agrícola no puede crecer más debido al incremento de las ciudades. Sin embargo, esta producción debe buscar la sustentabilidad a largo plazo, lo que garantizará la alimentación humana en la actualidad y las generaciones futuras.

Se concluye que el cultivo de espárrago en comparación con la uva de mesa es ineficiente e improductivo en el uso del agua en términos físicos y económicos, en tanto que emplea 3,32 veces más agua para producir un kg de producto y 1,75 veces más agua para producir un dólar de ganancia, pero no así en términos sociales, ya que produce 4,53 veces más empleo por hm^3 que la vid. No obstante, ese beneficio social inmediato implica un alto costo de oportunidad, ya que en términos absolutos presupone el uso en el tiempo presente, de grandes volúmenes de agua del subsuelo así como de aguas superficiales, comprometiendo el uso del agua para futuras generaciones, además de potenciar posibles enfrentamientos sociales entre los usuarios urbanos y los usuarios agrícolas del agua, enfrentamientos que se han suscitado en el pasado.

Asimismo, debe remarcar, que los indicadores generados por las variables dependientes, al provenir de la producción a escala comercial y no experimental, no son

exactos, sino, una aproximación acerca de la eficiencia y productividad con que se emplea el agua de riego en el cultivo de espárrago y vid en la región, y que al igual que otras áreas del mundo los indicadores de productividad descritos en este estudio tienen una variabilidad debido a las condiciones de manejo, sistemas de riego, tipo de cultivo, manejo del suelo, así como al empleo de nuevas tecnologías, por lo que los datos aquí mostrados deberán utilizarse por la comunidad científica para el análisis detallado y multidisciplinario de la aplicación de nuevas tecnologías en el campo que contribuyan a una mayor productividad y eficiencia del agua en los cultivos.

La determinación de las medidas a aplicar más apropiadas por lo tanto, dependerá en última instancia de las políticas agrarias, hídricas y sociales que se opten para beneficio de la comunidad, misma que deberá priorizar la generación de empleo, el uso racional de los recursos y el beneficio económico regional. Por lo tanto, la información discutida será de utilidad para los órganos encargados de la toma de decisiones cuyo objetivo primordial deberá ser; mantener la sostenibilidad integral de la agricultura. Una medida de política económica de sustentabilidad en el largo plazo, debiera ordenar ya no incrementar la superficie cosechada del cultivo de espárrago, dada su elevada demanda hídrica de 2.075 L kg^{-1} , que ha elevado el déficit de agua del acuífero sonoreño.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agenda Técnica Agrícola. Sonora. 2015. 2ª edición. SAGARPA. México. D.F.
2. Ahmad, M. U. D.; Masih, I.; Turrall, H. 2004. Diagnostic analysis of spatial and temporal variations in crop water productivity: A field scale analysis of rice-wheat cropping system of Punjab. *Journal of Applied Irrigation Science*. 39 (1):43-63.
3. Aldaya, M. M.; Martínez-Santos, P.; Llamas, M. R. 2010. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. *Water Resources Management*. 24(5): 941-958.

4. Alvarez, A.; Morábito, J. A.; Schilardi, C. 2016. Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(1): 161-177.
5. Caire Martínez, G. 2005. Conflictos por el agua en la Cuenca Lerma-Chapala, 1996-2002. *Región y sociedad.* 17(34):73-125.
6. Carrasco, J. M.; Pistón, J. M.; Berbel, J. 2010. Evolución de la productividad del agua en la Cuenca del Guadalquivir 1989-2005. *Economía Agraria y Recursos Naturales.* 10 (1): 59-69.
7. CONAGUA. 2007. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 2605 Caborca. Comisión Nacional del Agua. Estado de Sonora. México. 31p. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/OCNO07/Noticias/2605%20Caborca.pdf> / (last accessed July 19, 2015).
8. CONAGUA. 2015. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Comisión Nacional del Agua Insurgentes Sur, Colonia Copilco, Delegación Coyoacán, México, D.F. 408p. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SIGIH-6-15.pdf> / (last accessed September 5, 2015).
9. CONAGUA. 2017. Disponibilidad por acuíferos. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/sonora-74834>https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104297/DR_2605.pdf
10. Conveagro. 2016. Convención Nacional del Agro Peruano. www.conveagro.org.pe/node/11010.
11. Espinoza-Ojeda, E. 2003. Evaluación del riesgo a la salud por exposición a arsénico en agua potable en poblados de la costa de H. Caborca, Sonora: Hermosillo, México. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora. División de Ingeniería. 79p.
12. FAO, 2003. Descubrir el potencial del agua para la agricultura. Food and Agriculture Organization Roma, Italia: FAO. 72 p. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4525S/y4525s00.htm> / (last accessed December 26, 2016).
13. Fimbres, F. A.; Rivas, D. A.; Navarro, A. J. A. 2011. Efecto de la fertirrigación nitrogenada y potásica en el cultivo de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) en la región de Caborca, Sonora. *Revista Bio Ciencias.* 13(2): 35-40.
14. FIRA, 2014. Sistema de elaboración de Costos Agropecuarios en su Módulo Agrícola de FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Disponible en: www.fira.gob.mx / (last accessed September 11, 2015).
15. Fonseca, S. S. E.; Verano, Z. C.; Mariluz, S. J. P. 2012. Huella hídrica del espárrago en Perú. Autoridad Nacional del Agua. Oficina Nacional de Información de Recursos Hídricos. <http://es.calameo.com/read/001271945d27b8c12518b>
16. García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. UNAM. México. DF. 246 p.
17. García, G. J.; Contreras, L. F.; Usai, D.; Visani, C. 2013. Economic assessment and socio-economic evaluation of water use efficiency in artichoke cultivation. *Open Journal of Accounting.* 2(2): 45-52.
18. García, J. G.; Brunton, J. G. 2013. Economic evaluation of early peach (*Prunus Persica* L. *batsch*) Commercial orchard under different irrigation strategies. *Open Journal of Accounting.* 2(04): 99-106.
19. García, M. J. 2015. Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Escuela Internacional de Doctorado en Agroalimentación. Campus Rabanales. Disponible en: <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/12639/2015000001120.pdf?sequence=1> / (last accessed October 1, 2015).
20. Garcia-Salazar, J. A.; Mora-Flores, J. S. 2008. Tarifas y consumo de agua en el sector residencial de la Comarca Lagunera. *Región y sociedad [online].* 20(42):119-132. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252008000200005&lng=es&nrm=iso. [citado 2017-09-20].
21. Gleick, P. H. 2004. Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st century. *Science.* 302: 1524-1528.

22. González-Robaina, F.; Herrera, P. J.; López, S. T.; Cid, G. L. 2011. Productividad agronómica del agua. *Ingeniería Agrícola*. 1 (2): 76-81.
23. González-Robaina, F.; Herrera, P. J.; López, S. T.; Cid, G. L. 2015. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 23 (4): 21-27.
24. Hepworth, N. D.; Postigo, J. C.; Güemes, D. B.; Kjell, P. 2010. Drop by drop, understanding the impacts of the uk's water footprint through a case study of peruvian asparagus. *Progressio. CEPES and Water Witness International London*. 99p.
25. Herrera, J. C.; Unland, H.; Pulido, L.; Zavala, M.; Ojeda, W.; De León, B. 2002. Tecnificación y reconversión productiva del distrito de riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora. Conferencia presentada en el XII Congreso Nacional de Irrigación de la ANEI. Zacatecas, Zac., México.
26. Hoekstra A. Y.; Chapagain A. K. 2004. *Water Footprints of Nations*. UNESCO-IHE. Institute of Water Education. Value of Water. Research Report Series. Serie 16. Volume 1. Appendices. Netherlands.
27. INIFAP. 2010. *Guía Técnica para el área de influencia del campo experimental Costa de Hermosillo*. Hermosillo, Sonora, México. 220p.
28. Inzunza López, J. O. 2008 Optimización de patrones de cultivo de distritos de riego del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* [en línea]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545067005>>. [Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2017]
29. IWMI. 2000. *World water supply and demand 1995 to 2025 (draft)*. International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka. Disponible en <http://www.cgiar.org/iwmi/pubs/WWVisn/WWSDOpen.htm>. / (last acceded October 1, 2015).
30. Kijne, J. W.; Barker, R.; Molden, D. J. 2003. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. CABI Publication, Wallingford UK. 332p.
31. Lewis, A. G. 2013. *Automated Asparagus Harvester Feasibility Study*. Thesis Master of Engineering Management. University of Canterbury. Engineering Management. Available en: <http://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/7442> / (last acceded July 18, 2015).
32. López, T.; Herrera, J.; González, F.; Cid, G. 2011. Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelo y disponibilidad hídrica. *Ingeniería Agrícola* 1 (1): 24-29.
33. Masari, H., M. (2003). *El agua como recurso*. Disponible en: <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/54/el-agua-como-recurso>.
34. Molden, D.; Murray-Rust, H.; Sakthivadivel, R.; Makin, I.; 2003. A water productivity framework for understanding and action, pp.1-18. In: Kijne, J. W.; Barker, R.; Molden, D. J. 2003. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. CABI Publication, Wallingford UK. 332p.
35. Molden, D.; Oweis, T.; Steduto, P.; Bindraban, P.; Hanja, M.; Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 94 (4): 528-535.
36. Montesinos, P.; Camacho, E.; Campos, B.; Rodríguez-Díaz, J. 2011. Analysis of Virtual Irrigation Water. Application to Water Resources Management in a Mediterranean River Basin. *Water Resources Management*. 25 (6): 1635-1651.
37. Olmedo Vázquez, V. M.; Camacho Poyato, E.; Rodríguez Díaz, J. A.; Minjares Lugo, J. L.; Hernández Hernández, M. L. 2017. Determinación de indicadores de gestión en los módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 49(2): 149-168.
38. Olmedo Vázquez, V. M.; Minjares Lugo, J. L.; Camacho Poyato, E.; Hernández Hernández, M. L.; Rodríguez Díaz, J. A. 2017. Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 49(2): 127-148.
39. Oyarzún, C.; Nahuelhual, L.; Núñez, D. (2005). Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Ambiente y Desarrollo*. 20(3): 88-95.

40. Padilla Calderón, E. 2012. La construcción social de la escasez de agua: Una perspectiva teórica anclada en la construcción territorial. *Región y sociedad*, 24(SPE. 3), 91-116.
41. Pineda-Pablos, N.; Salazar-Adams. A. 2010. Managing Water Amid Rapid Urbanization: Mexico's North Borderlands. *Water and Sustainability in Arid Regions*. 2010: 245-260.
42. Ramírez-Vallejo, J.; Rogers, P. 2010. Failure of the virtual water argument: Possible explanations using the case study of Mexico and NAFTA. In *Global Change: Impacts on Water and food Security*. Springer Berlin Heidelberg. pp 113-126.
43. Rao, S. S.; Singh, Y. V.; Regar, P. L.; Chand, K. 2010. Effect of micro-irrigation on productivity and water use of cumin (*Cuminum cyminum*) at varying fertility levels. *Indian Journal of Agricultural Science*. 80(6): 507-5011.
44. Reyes, M. A.; Quintero, S. M. A. 2009. Problemática del agua en los distritos de riego por bombeo del estado de Sonora. *Revista Digital Universitaria*. 10(4): 2-19.
45. Ríos, F. J. J.; Torres, M. M.; Ruiz, T. J. 2014. Eficiencia física, económica y social del agua subterránea para riego en Chile en el DR-017. Comarca Lagunera. En: Godínez, M. L.; Figueroa, H. E.; Pérez, S. F.; Sepúlveda, J. D.; García, N. R. M.; Márquez, B. S. R.; y Mamani, O. C. I. (editores). *Aportaciones en Ciencias Agronómicas y Ambientales*. Chapingo, México.
46. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Castro, F. R.; Torres, M. M. A.; Ruiz, T. 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*. 47(1): 93-107.
47. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Ruiz, T. J.; Torres, M. M. A.; Cantú, B. J. E. 2015. Evaluación productiva, económica y social del agua de riego de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) en Zacatecas (México). *Avances en Investigación Agropecuaria*. 19(2): 97-109.
48. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Ruiz, T. J.; Torres, M. M. A. 2016. Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. *Acta Universitaria*. 26(1):20-29.
49. Ríos, F. J. J.; Jacinto, S. R.; Torres, M. M. A.; Torres, M. M. 2017. Huella hídrica del cultivo de cebolla producida en el DR005 Delicias, Chihuahua. En: Pérez, S. Francisco, Figueroa; H. Esther; Godínez, M. Lucila; Salazar, M. Raquel. 2017 (Directores-editores). *Rentabilidad de la Producción Agrícola en México. Handbook T-I. Ciencias de la Economía y Agronomía, Vol.1*. Chapingo, México.
50. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Torres, M. M. A. 2017. Productividad agrícola del agua en nogal pecanero del norte de México. Casos: Comarca Lagunera y Delicias, Chihuahua. Editorial Académica Española. Saarbrucken, Alemania.
51. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Torres, M. M. A; Cantú, B. J. E. 2017. Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México. *Revista Ciencia ergo sum*. Universidad Autónoma del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, México. 2(2):152-163.
52. Rodríguez, J.; Kern, W.; May, D. E. 2014. Analyzing the incidence of labour cost on organic production: implications on competitiveness. *Quarterly Journal of Business Studies*. 1(4): 141-148.
53. Rojas, E. B.; Delgado, G. B.; Manzano, L. A. V.; Ramírez, M. V.; Hernández, M. A. J. 2013. El uso eficiente del agua en la producción de maíces nativos de color en Xalostoc, Morelos, México. *Ambiente y Desarrollo*. 17 (3): 99-110.
54. Romero, A. P.; García, G. J.; Botía, O. P. 2006. Cost-benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in south-eastern Spain. *Irrigation Science*. 24(3): 175-184.
55. Salazar, B. 2012 El secreto del boom del espárrago: La sobreexplotación del agua, <http://larevistaagraria.org/sites/default/files/revista/LRA139/El%20secreto%20del%20boom%20del%20esparrago.pdf>
56. Seckler, D., Upali, M.; Molden, D.; De Silva, R.; Barker, R. 1998. World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. Research Report 19. International Water Management Institute: Colombo, Sri, Lanka. 40p. Disponible en: http://protosh2o.act.be/VIRTUELE_BIB/Water_in_de_Wereld/ALG-Algemeen/W_ALG_E22_World_Water.PDF / (last acceded December 25, 2015).

57. SIAP. 2014. Anuarios estadísticos de la producción agropecuaria. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA-SIAP. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/> / (last acceded August 25, 2015).
58. SIAP. 2015. [Infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index-jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index-jsp)
59. Steduto, P.; Hsiao, T. S.; Fereres E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Water productivity: Science and Practice. Irrigation Science.* 25:189-207.
60. Takele, E.; Kallenbach, R. 2001. Analysis of the impact of alfalfa forage production under summer water-limiting circumstances on productivity, agricultural and growers returns and plant stand. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 187(1): 41-46.
61. Teixeira, A. D. C.; Bassoi, L. H. 2009. Crop water productivity in semi-arid regions: from field to large scales. *Ann. Arid Zone.* 48: 1-13.
62. Vega-Granillo, E. L.; Cirret-Galán, S.; De la Parra-Velazco, M. L.; Zavala-Juárez, R. 2011. Hidrología de Sonora, México, In: Calmus, Thierry ed., *Panorama de Geología de Sonora, México.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118: 267- 298. Disponible en [http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/pubs/boletin/bol118/\(8\)Vega.pdf](http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/pubs/boletin/bol118/(8)Vega.pdf) / (last acceded November 12, 2016).
63. Velázquez, G. G. 2014. Los pueblos indígenas en México contra las nuevas formas de despojo. El caso de los yaquis en Sonora. *Territorios en disputa.* 269 p.
64. Viets, F. G. 1966. Increasing water use efficiency by soil management. In *plant environment and efficient water use.* Guilford RD., Madison, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 295 p.
65. Wilder, R. 2002. In name only: water policy, the state, and ejidatario producers in northern Mexico. <http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/280078> / (last acceded October 2, 2015).
66. World Wildlife Fund. 2013. Estado del arte de la medición de la huella hídrica a nivel nacional e internacional. WWF. Perú. p. 113.
67. Zwart, S. J.; Bastiaanssen W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management.* 69. 115-133.

Capacity of two vegetative species of heavy metal accumulation

Capacidad de dos especies vegetativas en la acumulación de metales pesados

Jorge Alcalá Jáuregui ¹, Juan C. Rodríguez Ortíz ¹, Alejandra Hernández Montoya ¹,
Maria Flavia Filippini ², Eduardo Martínez Carretero ³, Paola Elizabeth Diaz Flores ¹

Originales: *Recepción*: 01/05/2017 - *Aceptación*: 10/04/2018

ABSTRACT

Habitat fragmentation allows for vegetative species to be used as indicators of environmental pollution by heavy metals. Considering the distribution of *Prosopis laevigata* (mesquite) and *Schinus molle* (pepper tree) heavy metal concentrations were determined as potential indicators of environmental impact assessment for agricultural and livestock, rural settlement, commercial and service, urban settlement and mining land uses. A total of 30 sampling points were established during summer, autumn, winter and spring, based on the presence of the two species. Applying the technique of ICP-MS, concentrations of Al, As, Co, Cu, Cd, Pb, Ti, V and Zn were determined. With a statistic model the interactions between species, type of land use and season with respect to the concentration of these minerals in the leaf material were determined. Results indicated that the presence of heavy metals is determined by the effect of the species, land use and season, and the possible association between these. The specie of mesquite was the most efficient for bioaccumulation of Pb, Co and Al. In the same way, the pepper tree was more efficient with respect to Ti. On one hand, trees located in the mining land use showed the highest concentrations of Cu, Zn, Cd, Pb, Co and As. On the other hand, the spring season presented the highest concentration of Cu, Zn, Co, Ti and V. With that, it could be demonstrated that As, Co, Cd, Pb, Ti and Zn concentrations were above the normal limit. Therefore, the dynamics and functionality, environmental factors and physiological differences to develop physical-chemical processes in the absorption and transport of these elements towards the leaves are a determining factor of vegetative species placed under conditions of fragmentation, are good elements for surveying on pollution and environmental impact.

Keywords

pollution • foliar matter • land use • season • heavy metal

-
- 1 Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Km 14.5 Carretera San Luis-Matehuala Apartado Postal 32. C.P.78321 Soledad de Graciano Sánchez. San Luis Potosí. jorge.alcala@uaslp.mx
 - 2 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Química Agrícola. Almirante Brown 500. M5528AHB. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina.
 - 3 Geobotánica y Fitogeografía. IADIZA (CONICET).

RESUMEN

La fragmentación del hábitat permite aprovechar especies vegetativas como indicadores de contaminación ambiental por metales pesados. Considerando la distribución de *Prosopis laevigata* (mezquite) y *Schinus molle* (pirul) se determinaron las concentraciones de metales pesados en material foliar para evaluar el impacto ambiental de los usos de suelo agropecuario, residencial rural, comercial y servicio, residencial urbano y minero. Fueron establecidos 30 puntos de muestro durante las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera, basados en la presencia de las dos especies. Aplicando la Técnica ICP-MS fueron determinadas las concentraciones de Al, As, Co, Cu, Cd, Pb, Ti, V y Zn. Con un ANOVA se probaron las interacciones entre especie, tipo de uso de suelo y estación con respecto a la concentración de estos minerales en material foliar. Los resultados indicaron que la presencia de metales pesados está condicionada por el efecto de la especie, uso de suelo y la estación, así como la posible asociación entre estos. El mezquite resultó ser más eficiente en la bioacumulación de Pb, Co y Al. En el caso del pirul solo fue más eficiente con respecto al Ti. Los árboles ubicados en el uso de suelo minero obtuvieron las mayores concentraciones de Cu, Zn, Cd, Pb, Co y As. Por otra parte, la estación de primavera incidió en la mayor concentración de Cu, Co, Ti y V. Con esto se pudo demostrar que As, Co, Cd, Pb Ti y Zn presentaron concentraciones arriba del límite normal en material foliar. Por lo tanto, la dinámica y funcionalidad, factores ambientales y diferencias fisiológicas para desarrollar procesos físico-químicos en la absorción y transporte de estos elementos hacia las hojas son un factor determinante de las especies vegetativas situadas bajo condición de fragmentación, lo que contribuye ser un buen elemento de estudio de la contaminación y evaluación del impacto ambiental.

Palabras clave

contaminación • material foliar • usos de suelo • temporada • metales pesados

INTRODUCTION

Pollution by heavy metals (HM) can be assessed by making use of plant species that grow in fragmented habitats, serving as environmental indicators (21, 24). HM are severe pollutants in the environment due to their toxicity, persistence and bioaccumulation problems (9). Furthermore, its presence in the earth crust is lower to 0.1 % and generally lower than 0.01 % (28). These are classified into two groups trace elements or micronutrients (As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se and Zn) necessary in small quantities for organisms, but toxic once past a certain threshold and without known biological function (Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Bi) (29).

Some classifications of elements that are considered in this study, locate Cu and Zn within the group of trace elements and micronutrients, being these necessary for essential functions of the plants. The micronutrients are defined a chemical element necessary for plant growth found in small amounts, usually $< 100 \text{ mg kg}^{-1}$ in the plant.; and the As is considered ultratrace non-metallic elements and the metallic elements are located some as Cd, Cr, Co, Pb, Ni, and V (34). In the dynamics of the entrance of heavy metals in the plants are associated the soil contamination,

the dynamics of heavy metals in the soil, transport and toxicity of metals (31). Pollution in soil, air and water is possible to originate an accumulation of toxic elements in plant tissue. Hence, it is necessary to carry out leaf analysis to assess their concentration, where the selection of samples may include the entire plant or specific sections of it, such as the leafstalk, roots and leaves (8, 19, 28).

The HM are built up in street dust and on the plant leaves through atmospheric deposition related to sediments, impact and interception (38). This could be influenced by the aerodynamic effect of the woods or wooded area primarily because of the surface roughness of the woodland and turbulence generated in the wind (18). In general, the pollutant measurement central is located in urban areas, and there are few permanent registers from the outskirts such as those in the rural sector and natural areas. This situation worsens when it's the case of rural and industrial mining zones where the background, historical and indicator levels are unknown concerning the degree of pollution. Under these conditions the leaves of plants play an important role as a receptor of the atmospheric dust and as a baseline for the differential degree of pollution (18, 22).

Plants are used as direct or indirect elements of decontaminating. In the first case, plants participate in the modification of the pollutant quantity through absorption, sequestration or accumulation. Trees are also candidates in the practice of recovery, but the environmental consequences of their usage differ to those of herbaceous plants; this is due to their growth form, chemical composition, and longevity (25). The foliage analysis is a procedure to determine the elemental concentration in the leaves that reflect trees nutritional status, deficiency,

or toxicity. It can also provide information like the concentration of metals (27). It may be used as preventive practice and quality control as well as being used as environmental pollution index (18). In the state of San Luis Potosi, the municipalities of Soledad de Graciano Sanchez and San Luis Potosi, considered to be the most populated of the region (29, 35, 36), exhibit a rural-urban connectivity, highlighting the infrastructure and motion of agricultural areas, livestock farming, mining, resource banks, roads, vehicular traffic, as well as industrial influence, business and service expansion and rural and urban housing (35, 36). This has caused fragmentation in the distribution of some species and has developed studies to assess the environmental impact of the human activities, above all the presence of heavy metals due to the usual extraction of metallic and non-metallic minerals in these zones (37).

The presence of lead, zinc, arsenic, and cadmium in the environment and in urine and hair was found in children of San Luis Potosi (11, 20). The objective of this work was to determine the presence of heavy metals in *Prosopis laevigata* (mesquite) and *Schinus molle* (pepper tree), prevalent species with fragmented distribution from different land uses, in San Luis Potosi.

MATERIALS AND METHODS

The study area was located in the state of San Luis Potosi, within the rural-urban sector between the municipalities of Soledad de Graciano Sanchez and San Luis Potosí. The municipality of Soledad de Graciano Sanchez lies between 22°10'59" N and 100°56'27" W, and the San Luis Potosi at 22°08'59" N, 100°58'30" W with an altitude between 1.849 and 1.864 m (29).

The climate is dry template with warm summers, BSOKw¹¹ *e.g.* according to Koeppen's classification. The annual rainfall is 400 mm, mostly concentrated in summer and fall (from May to October).

Dominant soil types are litosol, xerosol, feozem, castañozem y fluvisol (35). *Propospis laevigata* (mesquite) and *Shinus molle* (pepper tree) are located in fragmented ground paths of five types dominant land uses: agricultural and livestock, rural settlement, commercial and service, urban settlement, and mining. This ground path formed an ecological corridor, allowed to locate 30 sample areas (figure 1, pag 127) and where previous studies have shown the presence of heavy metals in soil and sediments riparian area (4, 6).

The main criterion was the presence of the two species in each land use and sampling point due to habitat fragmentation conditions. In each land use, 30 to 40 g of foliar matter was taken of each species from single branches longer than 1.60 m. All sampled trees were located alongside a highway, alternating on the left and right sides, as well as their exposure to sources of pollution and airflow.

The samples were taken from the same exemplars during the summer and fall seasons of 2009, in addition in winter and spring of 2010, gathering 120 samples during the studied period. In order to determine the concentration of metals, a 0.5 g of foliar matter was incinerated in a muffle furnace at 450°C (dry digestion), addition of HNO₃ to 1%, filtering it, and complete at 25 ml in a volumetric flask for the analysis of de Al, As, Co, Cu, Cd, Pb, Ti, V y Zn by using of the ICP-MS technique in Laboratory of the Institute of Geology of the Autonomous University of San Luis Potosi.

The concentrations of metal were reported in mg kg⁻¹. For the data analysis (ANOVA) a was designed by Minitab, set to

$\alpha \leq 0.05$, testing the interactions between the use, type of land, species and season in reference to the concentration of heavy metals. A correlation analysis was carried out (Pearson's correlation coefficients), and in addition to principal component analysis (PCA) was performed.

RESULTS AND DISCUSSION

The general averages found in the analyzed elements of the leaves were on the basis of Al (266.0 mg kg⁻¹) > Zn (21.75 mg kg⁻¹) > Cu (5.2 mg kg⁻¹) > Ti (4.21 mg kg⁻¹) > V (2.62 mg kg⁻¹) > Pb (2.05 mg kg⁻¹) > As (0.45 mg kg⁻¹) > Cr (0.42 mg kg⁻¹) > Cd (0.11 mg kg⁻¹) > Co (0.06 mg kg⁻¹). On the other hand, there were considerable associations between the concentrations of heavy metals in the leaves, species, land use, season, and the double interaction between species-land use and land use-season.

Species effect

The species factor had a significant effect in the concentrations of Al (p=0.000), Co (p=0.035), Pb (p=0.077) and Ti (p=0.004). The relation of results can be seen in table 1 (page 128). The species of mesquite concentrated the highest amount of Al (406.7±23 mg kg⁻¹), being highlighted the difference of 137.5 mg kg⁻¹ in the concentrations of Al in mesquite to those found in the pepper tree. The concentrations of Al in plants are found on an average of 200 mg kg⁻¹ ranging between 10 a 1000 mg kg⁻¹ (34). Regarding Co, the mesquite resulted with a concentration of 0.11±0.009 mg kg⁻¹, obtaining 0.03 mg kg⁻¹ more than the pepper tree, being above the average which is of 0.2 mg kg⁻¹ (34).

In mature leaf tissue of various plants, the normal range is 0.02-1 ppm; it can be toxic to plants (23).

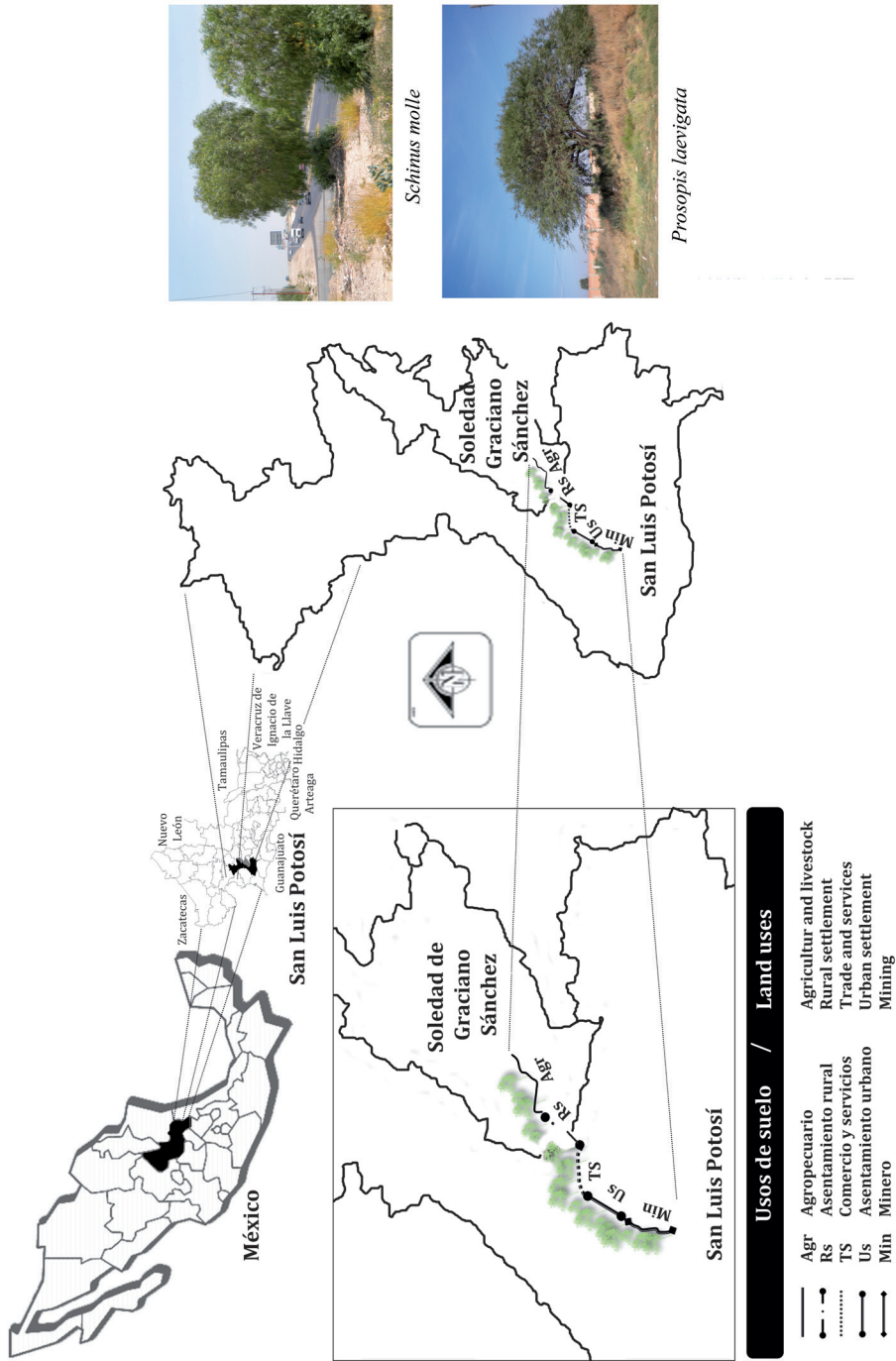


Figure 1. Location of the study area.

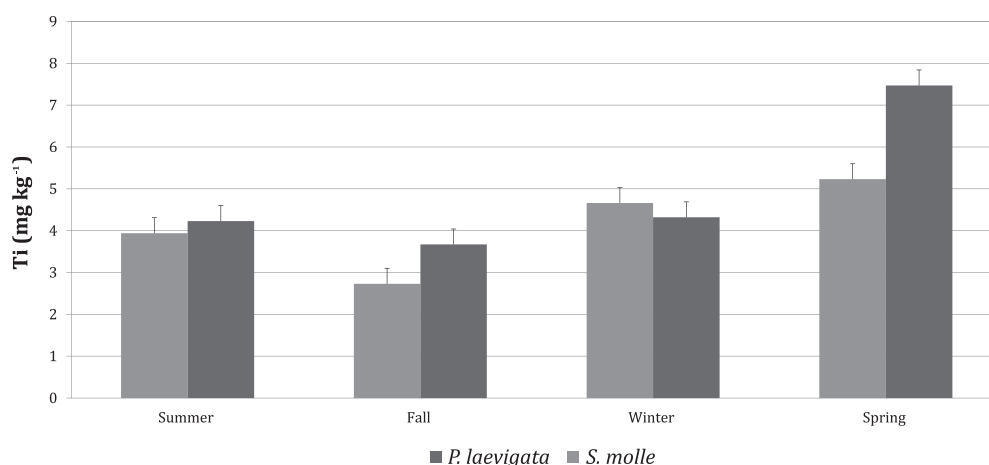
Figura 1. Localización del área de estudio.

Table 1. Ratio of the concentrations of heavy metals in foliar matter according to the species effect.**Tabla 1.** Relación de las concentraciones de metales pesados en material foliar de acuerdo con el efecto de la especie.

Species	Pb (mg kg ⁻¹)		Co (mg kg ⁻¹)		Al (mg kg ⁻¹)		Ti (mg kg ⁻¹)	
	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.
<i>P. laevigata</i>	7.08	1.02	0.11	0.009	406.7	23	4.14	0.18
<i>S. molle</i>	4.52	1.02	0.08	0.009	269.2	23	4.92	0.18

In respect to Pb, the concentration was of 7.08 ± 1.02 mg kg⁻¹, obtaining a difference of 2.56 mg kg⁻¹ between the mesquite and the pepper tree, overpassing the limit of normal content which is of 1.0 mg kg⁻¹ (34). In reference to the concentrations of Ti, the highest amount was present in the pepper tree with 4.92 ± 0.18 mg kg⁻¹, being above the normal range of 0.1 to 4.6 (34). The ratio species-season showed substantial incidence in the concentrations of Ti ($p=0.006$) and V ($p=0.000$). These results are shown in figures 2 (page 128) and 3 (page 129).

Regarding Ti, the highest concentration was present in the pepper tree during the season of spring with 7.47 ± 0.376 mg kg⁻¹, being above average range from 0.1 to 4.6 , its presence is considered as an indicator of pollution in land and atmospheric dust (34). In respect to V, the highest concentration was obtained from the pepper tree in spring with 3.66 ± 0.143 mg kg⁻¹. In reference to V ($p=0.019$), its highest concentration was in the pepper tree and in the commercial and service land use with 3.09 ± 0.160 mg kg⁻¹, the V concentrations in plants varied from 0.27 to 4.2 mg kg⁻¹ (34).

**Figure 2.** Ratio of the Titanium concentrations according to the species-season effect.**Figura 2.** Relación de las concentraciones de Titanio de acuerdo con el efecto especie-temporada.

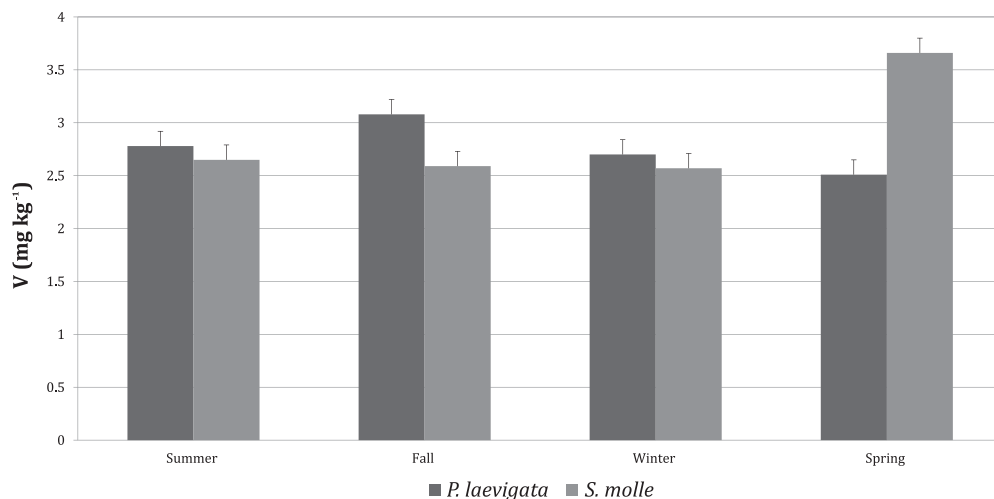


Figure 3. Ratio of the Vanadium concentrations according to the species-season effect.

Figura 3. Relación de las concentraciones de Vanadio de acuerdo con el efecto especie- temporada.

Regarding Ti, the pepper tree concentrated the highest amount in the urban settlement area with 6.11 mg kg^{-1} (figures 4 and 5, page 130), similar values were found in *Platanus occidentalis* (3). This element is linked to the removal of the earth's crust, especially to particles of dust (26). On the whole, the presence of the assessed elements can be attributed to the atmospheric disposition caused by industrialization and by emissions of automotives (41). These elements have been found in similar studies with tree species (3, 10, 38). The bioaccumulation patterns in plant species vary as well as the same elements, therefore the results cannot be extrapolated (30). Also, the natural sensibility or tolerance of plants in accumulating metals is substantially different according to the species and the genotypes (39).

Land use effect

In the case of the land use and considered all samples of two species, this was substan-

tially significant for the concentrations of Al ($p=0.000$), Cd ($p=0.000$), Co ($p=0.030$), Cu ($p=0.002$), Pb ($p=0.000$), Ti ($p=0.000$), and Zn ($p=0.000$), mainly because of its high concentration in trees found in the mining and the urban residential land use. These results are shown in table 2 (page 131). The mining and metal industries are associated to soil, air and water pollution with different potentially toxic elements such as lead and zinc (33). This may be having an effect in the concentration of these elements in both studied plant species. On the other hand, the content of elements in plants differs according to the level of pollution in the soil, but the differences between soils may be moderately or highly polluted (39). In reference to the use of mining land, most concentrations of Cd were $1.29 \pm 0.150 \text{ mg kg}^{-1}$. The content of this element varies from 0.1 a 1.0 mg kg^{-1} , and could have various effects over the plants such as on photosynthesis and the interruption the flow of mineral elements (34).

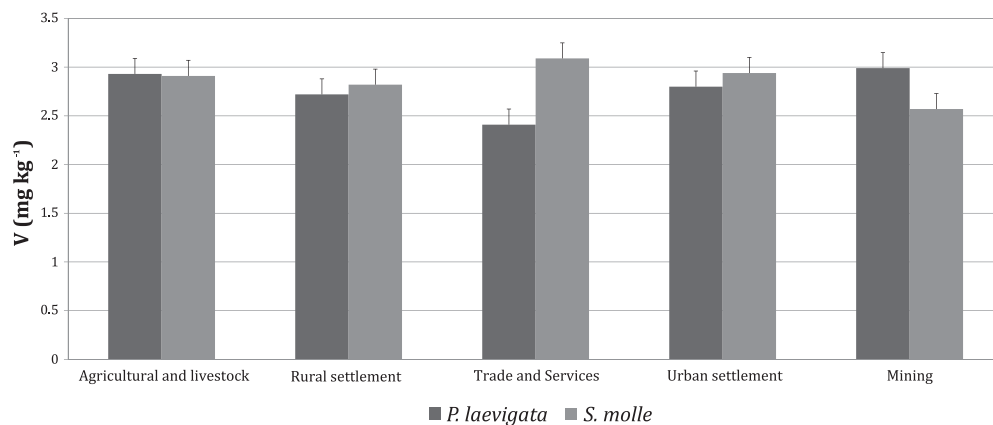


Figure 4. Ratio of the Vanadium concentrations according to the species-land use effect.

Figura 4. Relación de las concentraciones de Vanadio de acuerdo con el efecto especie-uso de suelo.

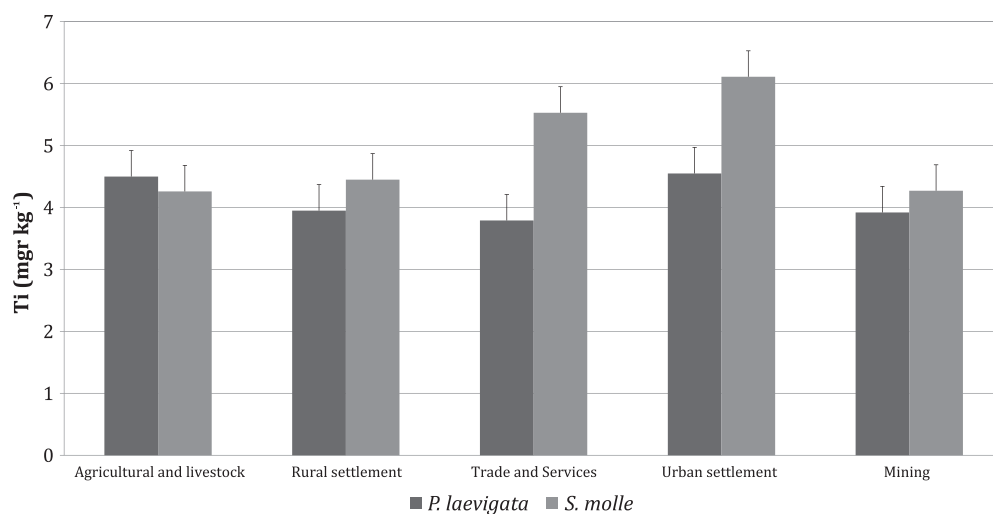


Figura 5. Ratio of the Titanium concentrations according to the species-land use effect.

Figura 5. Relación de las concentraciones de Titanio de acuerdo con el efecto especie-usos de suelo.

Table 2. Ratio of the concentrations of heavy metals in foliar matter (two species) according to the land use effect.
Tabla 2. Relación de las concentraciones de metales pesados en material foliar (dos especies) de acuerdo con el uso de suelo.

Land uses	Cu (mg kg ⁻¹)		Zn (mg kg ⁻¹)		Cd (mg kg ⁻¹)		Pb (mg kg ⁻¹)		Co (mg kg ⁻¹)		Ti (mg kg ⁻¹)		Al (mg kg ⁻¹)		As (mg kg ⁻¹)	
	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.
Agricultural and livestock	5.53	1.5	35.05	20.6	0.12	0.15	2.56	1.6	0.08	0.015	4.38	0.29	286.68	36.4	0.49	0.22
Rural settlement	5.11	1.5	27.94	20.6	0.15	0.15	2.81	1.6	0.07	0.015	4.2	0.29	282.95	36.4	0.5	0.22
Trade and services	7.77	1.5	64.14	20.6	0.44	0.15	4.65	1.6	0.1	0.015	4.66	0.29	243.7	36.4	0.56	0.22
Urban settlement	6.31	1.5	48.12	20.6	0.27	0.15	4.71	1.6	0.1	0.015	5.33	0.29	487.48	36.4	0.75	0.22
Mining	15.2	1.5	155	20.6	1.29	0.15	14.28	1.6	0.13	0.015	4.1	0.29	289.78	36.4	2.21	0.22

In mature leaf tissue of various plants, the normal range Cd is 0.05-0.02 ppm; excessive or toxic levels range from 5-30 ppm (23). In regard to Co, the highest concentration was of $0.13 \pm 0.015 \text{ mg kg}^{-1}$. It's a natural element found in rocks, land, water, plants and animals. It's associated to alloys used in the manufacture of engines, cutting and grinding tools, and is used to color glass, ceramics, paints, and as a drier for porcelain enamels and porcelain paints (14). The Cu had its highest concentration with $15.2 \pm 1.5 \text{ mg kg}^{-1}$. Copper is usually found near mines, foundries, industrial plants, landfills and waste disposal sites. At extremely high levels toxic effects might occur. It's associated with copper compounds that can be found in the environment, dust, air and land, vegetation in decomposition, and forest fires (13).

The concentrations of this element can be due to the presence of particles emanated by the copper foundries of the industrial zone (11). In regard to the Pb, the highest concentration was of $14.28 \pm 1.6 \text{ mg kg}^{-1}$. This indicates that it is above the limit of normal content in plants of 1.0 mg kg^{-1} (34). The Zn was of $155 \pm 20.6 \text{ mg kg}^{-1}$, the highest concentration found in this land use. The content of Zn in plants varies from 10 to 100 mg kg^{-1} (34). Most of the Zn in the environment is the result of mining, mineral refining, manufacturing of steel, and coal and waste incineration (15).

The level of zinc in the land increases mainly because of to the disposal of residues by industries that manufacture metal and by coal ash brought about from power plants. The Zn is an essential element for plant growth and has an important role in the biosynthesis of enzymes. While comparing the trends of the concentrations of these elements, it is highlighted that the rural settlement land use mostly had the least concentrations (2). Its presence may be due to being used as an agent for tire

repair and caused by vehicle pneumatic motor wear. The automobile tire abrasion increases especially in semi-arid environments (32, 38). The concentrations of Cu showed a difference of 10.09 mg kg^{-1} , the Pb was of 11.72 mg kg^{-1} and the Zn was of $127.06 \text{ mg kg}^{-1}$. In reference to the concentrations obtained in the urban settlement, the plant species showed higher Al concentrations of $487.48 \pm 36.4 \text{ mg kg}^{-1}$ y Ti $5.33 \pm 0.29 \text{ mg kg}^{-1}$, being above normal range of 0.1 to 4.6, associating their presence as a pollutant indicator in land and atmospheric dust (34).

The highest concentration of Al was in trees leaves localized in urban land use with 487.8 mg kg^{-1} , twice the concentration obtained in the commercial and service land use. The levels of Al in the air generally vary between $0.005 \text{ y } 0.18$ micrograms per cubic meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of air, depending on the location, the weather conditions, and the type and level of the industrial activity in the area. Most of the Al in the air is found hovering in small dust particles. The levels of Al in urban and industrial areas may be higher and could vary between $0.4 \text{ y } 8.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (17).

Season effect

The season factor had a significant effect in the concentrations of Al ($p=0.086$), Co ($p=0.000$), Cu ($p=0.002$), Ti ($p=0.000$), V ($p=0.011$) and Zn ($p=0.099$) (table 3, page 133) considered all samples of two species. The highest concentrations of Al were registered in winter ($391.2 \pm 32.56 \text{ mg kg}^{-1}$) and the lowest in fall with $277.6 \pm 0.009 \text{ mg kg}^{-1}$, showing a difference of 113.6 mg kg^{-1} . In regard to Zn, the highest concentration was in winter with $98.1 \pm 18.4 \text{ mg kg}^{-1}$ and the lowest in summer with $40.1 \pm 18.4 \text{ mg kg}^{-1}$, having a difference of 58 mg kg^{-1} . The amount of Zn in plants vary from 10 a 100 mg kg^{-1} (34).

Table 3. Ratio of the concentrations of heavy metals in foliar matter (two species) according to the season effect.**Tabla 3.** Relación de las concentraciones de metales pesados en material foliar (dos especies) de acuerdo con el efecto de la temporada.

Season	Cu (mg kg ⁻¹)		Zn (mg kg ⁻¹)		Co (mg kg ⁻¹)		Ti (mg kg ⁻¹)		Al (mg kg ⁻¹)		V (mg kg ⁻¹)	
	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.
Summer	5.13	1.35	40.1	18.4	0.08	0.013	4.09	0.26	324.1	32.56	2.72	0.1
Fall	6.27	1.35	48.3	18.4	0.06	0.013	3.2	0.26	277.6	32.56	2.83	0.1
Winter	8.58	1.35	98.1	18.4	0.12	0.013	4.49	0.26	391.2	32.56	2.64	0.1
Spring	11.97	1.35	77.7	18.4	0.14	0.013	6.35	0.26	358.8	32.56	3.09	0.1

For copper, the highest concentration was in spring with $11.97 \pm 1.35 \text{ mg kg}^{-1}$ and the lowest in summer with $5.13 \pm 1.35 \text{ mg kg}^{-1}$. The contents of this element in plants vary from 10 a 100 mg kg^{-1} (34). Ti was higher in spring with $6.35 \pm 0.26 \text{ mg kg}^{-1}$ and lower in fall with $3.2 \pm 0.26 \text{ mg kg}^{-1}$. Also Vanadium had its highest concentration in spring with $3.09 \pm 0.1 \text{ mg kg}^{-1}$ and the lowest in winter with 2.64 ± 0.1 . The concentration of this element in plants varies from de 0.27 a 4.6 mg kg^{-1} .

Use of land season-effect

Considered all samples of the two species, the relation between land use and season had a significant effect in the concentrations of As ($p=0.009$), V ($p=0.080$) y Pb ($p=0.014$) (table 4, page 134). The As exhibited the highest concentration on the land use mining-autumn with $3.81 \pm 0.44 \text{ mg kg}^{-1}$ and the lowest in the residential use rural-autumn with $0.22 \pm 0.44 \text{ mg kg}^{-1}$, having a difference of 3.59 mg kg^{-1} . The normal concentration of this element in plants varies from 0.009 a 1.7 mg kg^{-1} , which indicates being above this range (34). Arsenic origins in natural form in land and minerals and therefore may go into the air, water and to the soil as dust carried in the wind. The concentration of

arsenic on land varies broadly, in general between 1 and 40 parts of arsenic per million of parts of land (ppm) with an average of 3 to 4 ppm. However, the land near the geological deposits rich in arsenic near some mines and foundries, or in agricultural areas where pesticides were used with arsenic in the past may have higher levels of arsenic (16). Vanadium had the highest amount in the use commercial and service-winter $3.53 \pm 0.22 \text{ mg kg}^{-1}$ and the least concentration in the use of residential land rural-spring (2.38 mg kg^{-1}). Vanadium is usually mixed with other metals creating alloys. Vanadium in the form of vanadium rust is a component of a special kind of steel used in automobile parts, springs, and ball bearings. Vanadium is also blended with iron to manufacture parts for airplane engines. Small amounts of Vanadium are used to manufacture rubber, plastic, ceramic, and other chemical products (12). The concentrations of this element in plants varies from 0.27 to 4.2 mg kg^{-1} (34). In regard to Pb, its highest concentration was in the land use mining-fall with $27.67 \pm 3.21 \text{ mg kg}^{-1}$ and the least in rural residential land use with $1.08 \text{ mg kg}^{-1} \pm 3.21$ having a difference of 26.59 mg kg^{-1} . This indicates that it is above the limit of normal content in plants of 1.0 mg kg^{-1} (34).

Table 4. Ratio of the concentrations of heavy metals in foliar matter (two species) according to the land use-season effect.**Tabla 4.** Relación de las concentraciones de metales pesados en material foliar (dos especies) de acuerdo con el efecto uso de suelo-temporada.

Land uses	Season	V (mg kg ⁻¹)		As (mg kg ⁻¹)		Pb (mg kg ⁻¹)	
		Mean	±E.E.	Mean	±E.E.	Mean	±E.E.
Agricultural and livestock	Summer	2.71	0.22	0.31	0.44	1.41	3.21
	Fall	3.12	0.22	0.33	0.44	1.8	3.21
	Winter	2.9	0.22	0.72	0.44	3.81	3.21
	Spring	2.95	0.22	0.58	0.44	3.21	3.21
Rural settlement	Summer	2.96	0.22	1.01	0.44	5.72	3.21
	Fall	3.09	0.22	0.22	0.44	1.08	3.21
	Winter	2.38	0.22	0.28	0.44	2.05	3.21
	Spring	2.66	0.22	0.51	0.44	2.37	3.21
Trade and services	Summer	2.43	0.22	0.48	0.44	4.4	3.21
	Fall	2.39	0.22	0.25	0.44	2.18	3.21
	Winter	2.64	0.22	0.7	0.44	8.27	3.21
	Spring	3.53	0.22	0.81	0.44	3.76	3.21
Urban settlement	Summer	2.69	0.22	0.61	0.44	4.21	3.21
	Fall	2.76	0.22	0.43	0.44	3.08	3.21
	Winter	2.74	0.22	0.6	0.44	4.95	3.21
	Spring	3.3	0.22	1.34	0.44	6.61	3.21
Mining	Summer	2.79	0.22	1.15	0.44	7.92	3.21
	Fall	2.81	0.22	3.81	0.44	27.67	3.21
	Winter	2.53	0.22	1.12	0.44	10.45	3.21
	Spring	3	0.22	2.78	0.44	11.09	3.21

Lead is generally added to the environment by deposition of dust and from roads and highways in proportion to the density of traffic and the distance from the edge of the highway (1, 2). The levels of some pollutants may depend on the region, the weather conditions, and the type and level of the industrial activity in the area (17). On the other hand, these results may be influenced by the aerodynamic effect of the forest or arboreal area, mainly due to the surface roughness of the forest mass

and the turbulence caused by the wind, present in different seasons (18).

Analysis of the coefficient of correlation and PCA

The Pearson's coefficient of correlation test provided significant ratios from which Cu-Co (0.817), Zn-Cu (0.855), Zn-Co (0.785), Ti-Al (0.656), Pb-As (0.903), Cd-Cu (0.884) y Cd-Zn (0.953) ratios stand out. For such reason, the studied species comply with some of the criteria in order to be considered as bio monitors (2).

The first three components explained 71% of the variability in the original data (42, 19, 10%) obtained from the nine heavy metals that were analyzed. The dispersion diagram was built with the PC1 and PC2, which explained as a whole 61% of the variability of the original data. PC1 resulted positive correlations of which higher values were of the Co (0.38), Cu (0.37), Cd (0.37), Zn (0.35) and Pb (0.32). El PC2 presented positive correlations with high values highlighting Al (0.46) y Ti (0.42) (figure 6), to a large extent the influence of the land use of the urban and mining settlement as well as that of the species of mesquite and the winter season show data that have an effect upon this variability. Twelve samples are primarily

observed throughout the PC1 away from the interception axis between PC1 and PC2 (89, 177, 117, 137, 140, 147, 202, 207, 208, 223, 234, 237, 5, 158, 110, 191, 30 y 142). In figure 6, it distinguishes the samples 140 and 147 distant from the central axis. The first belonging to *P. laevigata* and the use of urban settlement land. In the original data presented the highest values of heavy metal concentrations, reaching 2346 mg kg⁻¹ Al, 0.90 mg kg⁻¹ of As, 0.28 mg kg⁻¹ Co, 6.37 mg kg⁻¹ of Cu, 0.843 6.37 mg kg⁻¹ of V, 10.9 mg kg⁻¹ Pb, 6.97 mg kg⁻¹ of Ti, 3.08 mg kg⁻¹ of V and 168.4 Mg kg⁻¹ of Zn. In regard to sample 147 which belongs to the *S. molle* and mining land use, showed high values of original data the Al (662.5 mg kg⁻¹), As (1.50 mg kg⁻¹), 0.698 mg kg⁻¹ of Co,

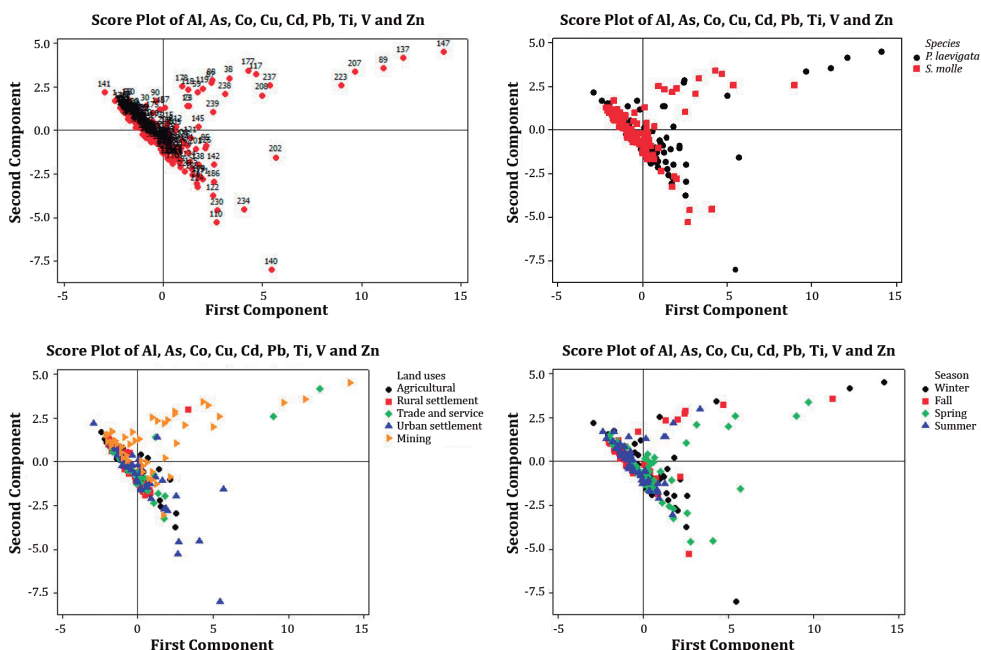


Figure 6. Point distributions derived of principal component analysis considering the factors of land use, species and season.

Figura 6. Distribución de puntos derivado del análisis de componentes principales considerando los factores usos de suelo, especie y temporada.

88.02 mg kg⁻¹ of Cu, 9.33 mg kg⁻¹ of Cd, 56.10 mg kg⁻¹ of Pb, 9.24 mg kg⁻¹ of Ti, 3.19 mg kg⁻¹ of V y 1304.5 mg kg⁻¹ of Zn. Similar results were found, attributing the presence of these elements in the environment to the influence of the urban and mining activity in the area (5, 7).

Figure 7 shows a cluster derived from the distances of correlation coefficient between the heavy metals studied, indicating the degree of affinity between As and Pb with a level of 96.8 %; on the contrary, V presents a lowest degree of affinity.

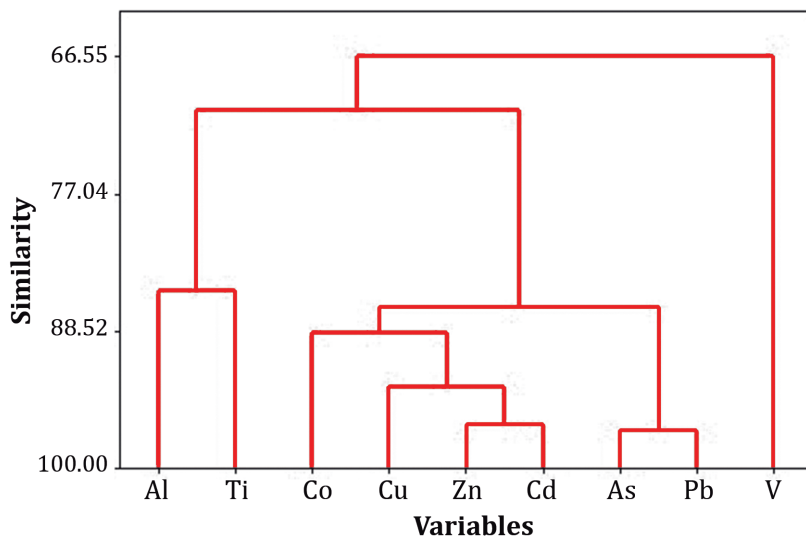


Figure 7. Dendrogram of similarity of Euclidean distance between the studied metals foliar matter.

Figura 7. Dendrograma de similitud de la distancia euclidiana entre los metales estudiados en material foliar.

CONCLUSIONS

Results indicated that the presence of heavy metals is determined by the individual effect of the species, land use, and season as well as the possible association between them. *P. laevigata* turned out to be more efficient in the bio-indication of Pb, Co and Al than the *S. molle*, that was more efficient with respect to Ti. The use of mining land resulted in higher concentrations of Cu, Zn, Cd, Pb, Co and As, having significantly impacted in six of the eight

assessed elements. On the other hand, the spring season presented the most amount concentrations of Cu, Co, Ti and V. In winter season Zn was the most represented concentrations. In this way, As, Co, Cd, Pb Ti and Zn showed concentrations above normal values for the vegetative species. It is evident that in addition to the influence of anthropogenic activities, environmental factors and physiological differences to develop physical-chemical

processes in the absorption and transport of these elements towards the leaves are a determining factor. Therefore, the dynamics and functionality of vegetative plant species studied under conditions

of fragmentation are good elements for assessment on pollution and environmental impact of antropogenic activities such as the different the land uses.

REFERENCES

1. Abdel-Latif, N. M.; Saleh, I. A. 2012. Heavy metals contamination in roadside dust along major roads and correlation with urbanization activities in Cairo, Egypt. *Journal of American Science*. 8(6): 379-389.
2. Aksoy, A.; Demirezen, D. 2006. *Fraxinus excelsior* as a biomonitor of heavy metal pollution. *Polish Journal of Environmental Studies*. 15(1): 27-33.
3. Alcalá Jáuregui, J.; Sosa, M.; Moreno, M.; Quintana, C.; Quintana, G.; Miranda, S.; Rubio, A. 2008. Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de calidad ambiental urbana: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*. 17: 39-54.
4. Alcalá Jáuregui, J.; Ávila Castorena, C.; Rodríguez Ortíz, J.; Hernández Montoya, A.; Beltrán Morales, F.; Rodríguez Fuentes, H.; Loya Ramírez, J. G. 2012. Metales pesados como indicador de impacto de un sistema ecológico fragmentado por usos de suelo, San Luis Potosí, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*. 44(2): 15-29 [en línea] Available in: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837651022>>. [Fecha de consulta: 26/03/2018].
5. Alcalá Jáuregui, J.; Rodríguez, R. O. J.; Villaseñor, Z. M. E.; Hernández Montoya, A.; García, A. M. E.; Beltrán, M. F. A.; Rodríguez, F. H. 2013. Vegetación bioindicadora de metales pesados en un sistema semiárido. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*. 45(1): 27-42.
6. Alcalá Jáuregui, J.; Rodríguez Ortiz, J. C.; Hernández Montoya, A.; Villarreal Guerrero, F.; Cabrera Rodríguez, A.; Beltrán Morales, F.; 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*. 46(2): 203-221. Available in: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652014000200015&lng=en&tlng=en. Recuperado 26 de marzo de 2018.
7. Alcalá Jáuregui, J.; Rodríguez Ortiz, J. C.; Hernández Montoya, A.; Díaz Flores, P. E.; Filippini, M. F.; Martínez Carretero, E. 2015. Cortezas de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) y *Schinus molle* (Anacardiaceae) como bioindicadoras de contaminación por metales pesados. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*. 47(2): 83-95.
8. Alvarado, A. L.; Yglesias, J. M.; Guell, O. 2005. Análisis multielemental de material foliar por medio de ICP. *Agronomía Costarricense*. 29(1): 17-27.
9. Al-Yemni, M. N.; Hassan, S.; El-Sheikh, M. A.; Eid, E. M. 2011. Bioaccumulation of nutrient and heavy metals by *Calotropis procera* and *Citrullus colocynthis* and their potential use as contamination indicators. *Scientific Research and Essays*. 6(4): 966-976.
10. André, O.; Vollenweider, P.; Günthardt-Goerg, M. S. 2006. Foliage response to heavy metal contamination in Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.). *For. Snow Landsc. Res*. 80(3): 275-288.
11. Aragón-Piña, A.; Campos-Ramos, A. A.; Leyva-Ramos, R.; Hernández-Orta, M.; Miranda-Ortiz, N.; Luszczewski-Kudra, A. 2006. Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la Ciudad de San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 22(1): 5-19.
12. ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 1995. Vanadio (Vanadium) CAS # 7440-62-2. División de Toxicología ToxFAQs.
13. ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2004. Resumen de Salud Pública. Cobre. CAS#: 7440-50-8.

14. ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2004 b. Resumen de Salud Pública. Cobalto. CAS # 7440-48-4.
15. ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2005. División de Toxicología Resumen de Salud Pública. Cinc. CAS#: 7440-66-6.
16. ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2007. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. División de Toxicología y Medicina Ambiental. Resumen de Salud Pública. Arsénico. CAS#: 7440-38-2.
17. ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2008. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. División de Toxicología y Medicina Ambiental. Resumen de Salud Pública. Aluminio. CAS#: 7429-90-5.
18. Dalmasso, A.; Candia, R.; Llera, J. 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina*. 6: 91-97.
19. Delgado, M. del M.; Lobo, C.; Plaza, A.; Capuano, A.; Hernando, G.; Prieto, J.; Miralles de Imperial, R.; Valero Martín, J. 2016. 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. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(2): 13-30.
20. Díaz-Barriga, F.; Santos, M. A.; Mejia, J. J.; Batres, L.; Yanez, L.; Carrizales, L.; Vera, E.; del Razo, L. M.; Cebrian, M. E. 1993. Arsenic and cadmium exposure in children living near a smelter complex in San Luis Potosi, Mexico. *Energy Technology. Data Exchange (ETDEWEB)*.
21. Duffus, J. H. 2002. Heavy metals. A meaningless Term? *Pure and Applied Chemistry*. 74(5): 738-807.
22. Durán, A.; Paris, M.; Maitre, M. I. Marino, F. 2016. Diagnóstico ambiental en la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(1): 129-143.
23. EPA. 1992. Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Volume 1. Metals. Environmental monitoring systems. Laboratory-Las Vegas. Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency.
24. Gmelin, L. 1849. *Handbook of Chemistry*. V. III. Metals. Translated from the German by H. Watts. London.
25. González-Chávez, M. C. A. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *TERRA Latinoamericana*. 23(1): 29-36.
26. Goudot, A.; Bertrand, D. 1973. Los oligoelementos. Que sais-je. Nº 88. Oikos-tau Ediciones. España.
27. Heckman, J. 2004. Leaf analysis for fruit trees. Fact sheet FS627. Rutgers Cooperative Research & Extension. NJAES. Rutgers. The State University of New Jersey. 2 p.
28. Hernández-Vera, D.; Pompa-García, M.; Wehenkel, C.; Pérez-Verdín, G.; Carrillo-Parra, A. 2017. Are there any differences in carbon concentration among species of high conservation value forests in Northern Mexico?. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 49(2): 183-192.
29. INEGI. 2014. Anuario estadístico de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). 573 p.
30. Madejón-Rodríguez, P. 2004. Elementos traza y nutrientes en plantas y suelos afectados por el vertido minero de Aznalcóllar. *Revista Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. XII: 002.
31. Navarro-Aviñó, J. P.; Aguilar Alonso, I.; López-Moya, J. R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16(2): 10-25.
32. Norouzi, S.; Khademi, H. 2015. Source identification of heavy metals in atmospheric dust using *Platanus orientalis* L. leaves as bioindicator. *Eurasian J Soil Sci*. 4(3): 144-152.
33. Ortiz-Cano, H. G.; Trejo-Calzada, R.; Valdez-Cepeda, R. D.; Arreola-Ávila, J. G.; Flores-Hernández, A.; López-Ariza, B. 2009. Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y Micorrizas. *Revista Chapingo. Serie Horticultura [en línea]* 15 (Mayo-Agosto).
34. Pais, I.; Benton, J. J. 1997. *The Handbook of Trace Elements*. St. Lucie Press. 223 p.

35. Plan del Centro de Población Estratégico San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez. 201. H. Ayuntamiento de San Luis Potosí. H. Ayuntamiento de Soledad de Graciano Sánchez.
36. Plan Municipal de Desarrollo (2009-2012). 2012. San Luis Potosí. H. Ayuntamiento de San Luis Potosí. 101p.
37. SGM (Servicio Geológico Mexicano). 2008. Panorama minero de San Luis Potosí. Secretaría de Economía. Gobierno Federal.
38. Tanushree, B.; Chakraborty, S.; Bhumika, F.; Piyal, B. 2011. Heavy metal concentrations in street and leaf deposited dust in Anand City. India Research Journal of Chemical Sciences. 1(5): 61-66.
39. Tlustoš, P.; Száková, J.; Hrubý, J.; Hartman, I.; Najmanová, J.; Nedělník, J.; Pavlíková, D.; Batysta, M. 2006. Removal of As, Cd, Pb, and Zn from contaminated soil by high biomass producing plants. Plant soil environment. 52(9): 413-423.
40. Velázquez, G. 2008. Diseño de una red de monitoreo atmosférico para la ciudad de San Luis Potosí: ubicación de nodos. Tesis de doctorado en ciencias ambientales Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultades de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. San Luis Potosí. México.
41. Yilmaz, R.; Sakcali, S.; Yarci, C.; Aksoy, A.; Ozturk, M. 2006. Use of *Aesculus hippocastanum* L. As a bioindicator of heavy metal pollution. Pak. J. Bot. 38(5): 1519-1527.

ACKNOWLEDGMENT

To all the students of the Agroecology Educational Engineer Program who participated as support in the samplings and Idrissa Diédhiou (Posgrade student) for the translation to English.

Development programs for female farmers: identifying clusters for the case of Chile's "Education and training program for rural women"

Programas de desarrollo dirigidos a agricultoras: identificando clústeres para el caso del programa "Formación y capacitación para mujeres campesinas" de Chile

Soffía Boza ¹, Tomás Muñoz ¹, Maruja Cortés ¹, Margarita Rico ², Jazmín Muñoz ¹

Originales: *Recepción*: 22/09/2016 - *Aceptación*: 24/10/2017

ABSTRACT

This article aims to contribute to the evaluation of development policies for female farmers based on their beneficiaries' attitudes. For this, it was conducted a survey in the Metropolitan Region of Santiago, Chile, to a representative sample of participants in the "Education and training program for rural women" of the Chilean National Institute for Agricultural Development. The questionnaire applied was divided into the following sections: i) personal characteristics of the farmers and their family unit; ii) technical, productive and commercial features; iii) farm and household income; and iv) vision of themselves and program-related attitudes. The data collected was processed by descriptive and multivariate techniques such as principal components and cluster analysis. The results show a positive assessment of the program on an aggregate level, although there are significant dissimilarities within the sample, allowing three clusters to be identified: "reticent participants" (42.3%), "associative participants" (20.5%) and "empowered participants" (37.2%). The farmers on those clusters present differences not only in their attitudes towards the program but also in their education level, income, farm profitability and balance between productive and domestic roles. It's concluded that individual characteristics and circumstances impact beneficiaries' perception of the programs, which should be considered in their design and implementation.

Keywords

female farmers • public policies • rural development • attitudes • clusters • Chile

-
- 1 University of Chile. Faculty of Agricultural Sciences. Department of Agricultural Economics. Av. Santa Rosa 11315. La Pintana. Santiago. Chile. sofiaboza@u.uchile.cl.
 - 2 University of Valladolid. Higher Technical School of Agricultural Engineering Department of Agricultural and Forestry Engineering. Av. Madrid 57. Palencia. Spain.

RESUMEN

Este artículo tiene como propósito contribuir a la evaluación de las políticas de desarrollo dirigidas a mujeres campesinas, considerando en este sentido las actitudes de sus propias beneficiarias. Para ello, se aplicó una encuesta en la Región Metropolitana de Santiago, Chile, a una muestra representativa de participantes del programa "Formación y Capacitación para mujeres campesinas" del Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario. El cuestionario utilizado se dividió en las siguientes secciones: i) características personales de las productoras y de sus unidades familiares; ii) rasgos técnicos, productivos y comerciales; iii) ingreso predial y familiar; y iv) visión respecto de ellas mismas; así como actitudes frente al programa. La información levantada se procesó mediante técnicas descriptivas y multivariantes, como componentes principales y análisis de conglomerados. Los resultados obtenidos muestran una valoración positiva del programa a nivel agregado, sin embargo con diferencias significativas entre las encuestadas, permitiendo identificar tres grupos: "participantes reticentes" (42,3%), "participantes asociativas" (20,5%) y "participantes empoderadas" (37,2%). Las agricultoras en cada grupo divergen no solo en sus actitudes respecto del programa, sino también en su nivel educacional, ingreso, rentabilidad de sus negocios y relación entre los roles productivo y doméstico. Se concluye que las características y circunstancias individuales impactan en la percepción que las beneficiarias tienen sobre los programas, lo que debe ser considerado en su diseño y ejecución.

Palabras clave

mujeres campesinas • políticas públicas • desarrollo rural • actitudes • clústeres • Chile

INTRODUCTION

An increase in the presence of females in the farming workforce and in land managerial positions is a phenomenon that has gained strength, particularly in small-scale farming (14, 36, 51).

However, there are limitations in access to resources that frequently result in production gaps between male and female farmers (2, 12, 20, 27, 39, 42) thereby making women's activities less attractive in terms of expansion (53). Meanwhile, a "traditional" labor division still prevails, in so far as women's participation in production tasks is frequently unpaid and invisible (11) and additionally, they spend many more hours than men in housework and childcare.

Despite these important boundaries for female farmers, for a long time rural development policies did not seek to address them (5). In fact, up until the 70s development programs, women were restricted to reproductive/domestic roles (40). Since the United Nations declared 1975-1985 the "Decade for Women", important progress has been made in terms of the incorporation of gender issues into development planning, which has produced two main standpoints: "Women in Development" (WID) and "Gender and Development" (GAD).

The first approach proposes the need to improve the situation of women by integrating them into development

initiatives, whereas the second defends the need to transform social structures that foster inequalities (46).

One of the main criticisms to the GAD approach is the difficulty of putting it into practice, which has meant that the WID approach has had greater significance regarding development initiatives (40); not only in low and middle income countries, but also in cases such as the European Union (43). Said initiatives have prioritized the satisfaction of Moser's (1989) "practical" gender needs, over those of "strategic" nature. This is despite the fact that the structural circumstances that restrict women's empowerment constitute an essential factor in lowering their entrepreneurial capacity and, consequently, their positive impact on rural development (9).

Since rural women face particular limitations associated with the social structures into which they are placed, not only is the quantitative impact of programs relevant, but also the dynamics by which those effects are generated, which might be related to subjective processes such as their progressive empowerment. From this point of view, a public policy and its beneficiaries are in constant and bidirectional interaction. Consequently, a complete assessment of a program should also include consideration of the individual responses to it.

The beneficiaries' attitudes can be assimilated to such specific responses, since they are defined as evaluative reactions with the potential to condition the individual's behavior (38). However, the recent literature that evaluates female farmers' support programs uses to narrow its focus to women's impact on variables such as productivity, income or land use (19, 26).

This proposed approach, of course, does not rule out the importance of an outcome evaluation, but rather complements it for a greater understanding of the programs. Although the analysis of attitudes is more common in consumer studies, it has been previously applied in the context of farmers' perceptions on diverse issues (8, 28, 29, 32, 33, 44, 45). Some of these researches have shown that farmers' attitudes diverge depending on their objective characteristics; which may imply a relationship between those two dimensions.

Considering this context, the objective of this paper is to evaluate rural development policy directed towards female farmers by identifying the attitudes of its beneficiaries. The hypothesis is that the perception about development programs of female farmers differs in accordance with their characteristics and situation, especially in relation to the relative importance of productive role.

For this, we will examine the case of Chile's "Education and training program for rural women".

In Chile, family farming is supported mainly by the governmental agency, the National Institute for Agricultural Development (Indap, due to its acronym being Spanish), which has a long history of work with small-scale producers (35). Of the twenty plus different programs offered by Indap, the "Education and Training Program for Rural Women" is the only one specifically focused on female farmers. It is carried out with additional support from the Foundation for the Promotion and Development of Women (Prodemu, due to its acronym being Spanish).

The program aims to help small-scale female farmers in operative units made up of ten women through training sessions on different subject areas: production

development, business management, organizational and sociability development, and personal development. In fact, the institutions in charge of the program explicitly state the importance of achieving significant progress not only in terms of the female farmers' economic situation, but also in their psycho-social development, implicitly recognizing that both are closely related. Over the course of the program which was initiated in 1992, it has attended to more than 20,000 women.

In addition to a deeper understanding of the specific case study, this paper aims to significantly contribute to the existing literature on gender issues in agricultural and rural development policy, while addressing the subject from a methodological approach unexplored in this area. So, besides contributing to the current literature, this paper will also constitute an innovative framework for further research.

Additionally, it will represent a highly constructive background for policymakers facilitating the conception of support strategies for female family farming, a segment that faces particular restrictions, and therefore is of special interest to the public sector.

MATERIALS AND METHODS

The data analyzed in this article was obtained from a survey conducted between the months of June and September 2013, among participants of the Indap-Prodemu "Education and training program for rural women" in Chile's Metropolitan Region. This Region concentrates 40% of the Chilean population, of which the majority is settled in the urban nucleus of the Gran Santiago.

The region is divided into 52 districts, and of them, only 18 are considered

rural. In contrast to this urban character, agricultural production in the Metropolitan Region is extremely important for the nation's supply.

The Region encompasses 26.5% of the Chilean total area for horticulture, 17.3% for fruit and 9.4% for vineyards (37).

However, the relative position of farming in the region has been seriously compromised throughout the last decades (mainly since the 80s) due to the expansion of the city of Santiago (22).

In fact, Santiago and its metropolitan area is the main economic center of Chile. In 2015 the region generated 45.6% of the national GDP (6). This economic power triggers pressure from non-agricultural activities on agriculture not only because of land use, but also on account of human resources. Two related situations are observed in the regional farms: aging and feminization of management (7).

Therefore, the choice of the Metropolitan Region as an area of study is due to an interest in a context in which there are continuous tensions that impact, *inter alia*, the changing role of women in farming. In addition, the Metropolitan Region has not been an area of frequent study for agricultural development research in Chile, which has instead been focused on the central and southern parts of the country.

The survey sample selection was carried out via a simple random sampling of finite populations -considering the total number of Metropolitan Region "Education and training program for rural women" participants in 2013- of 394 women. The result was 78 individuals (CI = 95%; e = 10%).

The questionnaire was divided into the following main sections: i) personal characteristics of the farmers and their family unit; ii) technical, productive and commercial features; iii) farm

and household income; and iv) vision of themselves and program-related attitudes. The answers to the last category were given in accordance with a 5-level Likert scale (in this case, 1: "completely disagree", 2: "disagree", 3: "indifferent", 4: "agree" and 5: "completely agree").

The information obtained from the survey was analyzed firstly by using descriptive statistics. This was followed by multivariate analysis techniques applied to the results obtained regarding farmers' attitudes.

In this sense, a principal components analysis was employed, which facilitates a reduction in information derived from inter-related variables (24). Previously Bartlett's sphericity test and the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) index were estimated in order to determine the sample adequacy (30).

The criteria used to select the number of factors were Kaiser's method, the determination based on the percentage of the variance, and lastly, the coherence of the variables within the chosen factors.

The internal consistency of said factors was measured using Cronbach's coefficient alpha. The factors were then interpreted in accordance with the rotated component matrix obtained through the Varimax process, from which the variance percentage explained by the variables of each factor was established.

Once the factors were established, a hierarchical cluster analysis was carried out, followed by a k-means cluster analysis, given that both can be used complementarily, first to define the number of clusters and then to group the consequent observations (30).

The procedure used for the hierarchical cluster analysis was Ward's technique which aims to form a hierarchy or tree-like structure per agglomeration (24).

The groups identified underwent a discriminant analysis in order to check whether there were significant differences observed between clusters. In order to evaluate the results two statistics were used: the canonical correlation and Wilks' lambda.

Finally, the segments obtained were characterized using descriptive statistics.

RESULTS AND DISCUSSION

Descriptive analysis of the sample

Firstly, the women who participated in the survey were between 19 and 81 years old, with an average age of 48 years. As already mentioned, the relative aging could be due, among other causes, to the incessant migration of young people from the country to the city. This proposition is supported by the case of central Chile as discussed in Castro (2012) and Valdés and Rebolledo (2015).

In addition, according to World Bank 2015 data, the Chilean rural population has experienced an average annual decrease of 0.8% in the last two decades, compared to an increase in the urban population of 1.5% per year during the same period.

Furthermore, the relatively high level of education of the women consulted stands out, given that 35.9% of them stated that they had finished high school. This number reaches 61.6% when the participants who declared that they had also studied higher education, even if they have not finished, are counted. These results contrast with data from the Chilean National Socio-Economic Survey (CASEN) for 2013, which show that in Chile only 32% of rural inhabitants declare that they have completed secondary education or higher, and 37.8% of the population have not even completed primary school.

The national situation is worse for individuals aged 60 or more and for the two lowest quintiles of income.

Regarding access to services, 79.5% of the women consulted claimed to have access to preschools in their area, 87.2% to elementary schools and 38.5% to secondary schools. Regarding health services, 52.6% of the women consulted said that they had access to the rural accident and emergency service, 41% to a doctor's surgery and 20.5% to the primary emergency service (SAPU).

Furthermore, 61.5% of the women consulted used community transport to travel locally and 32.1% did so by car. Only 6.4% of the women declared that they used non-motorized modes of transport such as bicycles or walking. This is of great relevance if we consider the possibility that *a priori* access to more efficient modes of transport leads to greater autonomy.

Meanwhile, 55.1% of the women consulted lived in their own house and 37.2% obtained it through family links. The women's family units were made up on average of 4 people, ranging from 12 members to women that live alone. There was a notable presence of elderly people within the family unit, considering that they represented 17% overall.

On the other hand, 25% of the members were under the age of 18, and 9% of them were under 6 years old. In terms of relationship status, 72.4% of the women consulted were either married (48.7%) or in a relationship (23.7%).

Regarding decision making, 53.8% of the women declared that they carried out this process together with their partner, whereas 28.2% did so alone. This is reflected in the positive relationship evidenced by Damisa & Yohanna (2007) between rural women's level of education and age and their level of participation

in the aforementioned process, even when they are not recognized as the "head of house". These authors highlight co-ownership of land as an essential factor in that sense, which is also supported by Wiig (2013) in the case of Perú.

When the women consulted were asked to declare the work status that best represents them, the majority (46.2%) answered "housewife", followed by 14.1% choosing "working", 6.4% "working and studying" and 15.4% "working sporadically". In this same sense, in order to find out how the women consulted organized their time, they were asked what activity they dedicated most of their day to, in first and second place.

Fifty-nine percent of the women consulted declared that housework was their primary activity, followed by 17.9% dedicating their time to the production unit. As a second option, 52.6% of the women indicated the production unit, followed by 22.4% declaring housework. In this sense, Fawaz & Soto (2012) provided evidence in the case of central Chile for the constant tension between productive and domestic roles for rural women despite advances in terms of their incorporation into the labor market.

Actually, Ferrada & Zarzosa (2010) and Fawaz & Rodríguez (2013) point out the link between marital status and women's labor market participation in Chile, with married women being significantly less active.

The high priority that the women consulted gave to unremunerated work is probably related to (in addition to other factors) the low income that they generated, which on average added up to CLP \$74,787 per month (112.3 US\$). It is important to mention that this income was mainly the product of work carried out as part of the program and corresponded to 22.5% of the overall household budget,

which reached an average of CLP \$331,729 (498.1 US\$) per month. These results fall in line with Anthopoulos's (2010) findings, which identified that expectations for benefits and expansion in their business is more modest in rural women than in men, given that females protect the balance between production tasks and taking care of the family.

Complementarily, Rodríguez & Muñoz (2015) show that one of the factors inhibiting the Chilean rural female movement into the labor market is the relatively small contribution that they represent to the household income.

Therefore, it is likely that female farmers fall into a vicious circle, where low income prospects and family responsibilities discourage greater dedication to their business, thus preventing them from improving their performance and contribution to the household economy.

In fact, in the case of the women consulted, only 18.2% of the production units declared their activities to the tax services. This rate is even lower than that which is observed for rural entrepreneurs in the country, which was 26.2% in 2014.

The informality is also reflected in terms of market access. In this sense, 57.7% of the women consulted declared that the products elaborated by the program group in which they participated were sold directly from the place of production, whereas for 12.8% the method of distribution employed was "door to door". Even their participation in local markets is very low, considering how important these are to Chilean small-scale farming (47), and thus this is expected to have an additional detrimental effect on the potential growth of their sales.

Finally, the main areas that the groups work in are horticulture and poultry farming, standing at 46.2% and 30.8%

respectively, followed by 11.5% in floriculture. The high presence in the first two subsectors coincides with data from the last agriculture census conducted in the Metropolitan Region (48); however, this is not the case for floriculture.

The difference may be due to the fact that in Chile floriculture is an activity with special ties to family farming and, in particular, to females.

Assessment of statements referring to attitudes and factorial analysis

The survey employed contained a series of statements relating to attitudes towards the initiative "Education and training program for rural women" that were scored by respondents in accordance with a 5-level Likert scale, with 1 being "totally disagree" and 5 being "totally agree". In this context, the most highly supported statement was: "The program has helped me to value my work" (average 4.68). This represents a great achievement, considering that a lack of self-confidence has the potential to limit rural women's entrepreneurship (3). Likewise, the following statements were also highly rated: "In general terms I am satisfied with the service provided by the program" (4.59), and "I think the training, courses and workshops provided by the program are useful" (4.56). This illustrates an overall positive view in terms of how the participants evaluated the general content that the program offered them.

Subsequently, statements relating to association and participation arose: "Thanks to the program I have learned the importance of associating with others" (4.49), "Thanks to the program I have learned to work as a team" (4.47), and "The program takes into account the participants' opinions" (4.48).

The beneficiaries' agreement with these statements is of particular relevance if we consider that positive links have been found regarding the relationship between rural women's collective action and their empowerment in a number of researches (15, 50).

Additionally, associativity is one of the pillars of this program since it is aimed at promoting collaboration and reliability to achieve common goals (54).

Furthermore, among the most positively evaluated statements there are a number related to overall improvements that the program facilitates for the current situation and for the business outlook for the women: "My production unit will continue working in the future thanks to the program" (4.41), "The program has helped me learn to introduce new ideas into my production unit" (4.32), "Thanks to the program I feel capable of carrying out new business ventures in the future" (4.21), and "The program has helped improve the organization of my production unit" (4.19).

The principal components analysis based on answers to the proposed statements showed that the farmers' attitudes towards the training program could be explained as 57.6% of the variance for the following six factors: "training and personal development" (20.39%), "service and feedback" (9.29%), "future prospects and business ventures" (8.31%), "commercialization and organizational management" (7.06%), "associativity" (6.71%) and "dedication to work" (5.83%) (table 1, page 149).

Cluster analysis of female farmers in terms of their attitudes

Three homogenous groups of female farmers were identified in terms of their attitudes towards the program (and specified in the principal components previously described). These groups were named the following: "reticent participants" (42.3%), "associative participants" (20.5%) and "empowered participants" (37.2%).

The first segment was defined, generally speaking, by its relatively negative attitude towards the program. This is particularly so in terms of the impact that this segment of participants felt they had achieved regarding "associativity" and "commercialization and organizational management", but also in relation to the "training and personal development" factor.

The results mentioned agree with those of Boza *et al.* (2016) for Indap beneficiaries of the local development program (Prodesal), where an important group of farmers that were skeptical about its usefulness were identified.

In the case of the women belonging to the "associative participants" cluster, there were contrasting positive and negative attitudes towards the program. As for the other profiles, the greatest differences were identified in the factors "future prospects and business ventures" and "dedication to work", for both of which negative attitudes were expressed. In contrast, the "associativity" factor produced extremely positive attitudes. Lastly, the "empowered participants" segment was characterized by its all-round positive attitude towards the program, and was the only group to commend the "dedication to work" factor (table 2, page 150).

Table 1. Composition of factors which explain farmers attitudes towards the program.

Tabla 1. Composición de los factores que explican las actitudes de las agricultoras frente al programa.

Factor	% of variance	Loading	Factor variable
Training and personal development	20.39%	0.770	My efficiency when working has improved thanks to the program.
		0.684	The quality of my business' products has improved thanks to the program.
		0.658	The program has helped me learn to introduce new ideas into my production unit.
		0.624	The program has helped me improve my technical skills.
		0.550	I think that the training, courses and workshops provided by the program are useful.
		0.530	The program has helped me increase my self-esteem.
		0.507	The program has helped improve the organization of my production unit.
Service and feedback	9.29%	0.787	In general terms I am satisfied with the service provided by the program.
		0.731	The program has helped my production unit in its formal and legal aspects.
		0.703	The program takes into account the participants' opinions.
		0.446	My production unit will continue working in the future thanks to the program.
Future prospects and business ventures	8.31%	0.728	Thanks to the program I feel capable of carrying out new business ventures in the future.
		0.698	The program provides information on other support services and programs.
		0.698	The program has taught me how to run a business.
		0.482	The program promotes taking care of the environment.
		0.437	My household income has risen as a result of this program.
Commercialization and organizational management	7.06%	0.763	Thanks to the program my production unit has improved its commercialization.
		0.681	There is a fair distribution of tasks among the participants in my group.
		0.616	I consider there to be an adequate number of participants in my group.
Associativity	6.71%	0.841	Thanks to the program I have learned the importance of associating with others.
		0.764	Thanks to the program I have learned to work as a team.
Dedication to work	5.83%	0.624	I consider the amount of time I spend working on my production unit to be excessive.
		0.559	The program provides sufficient financial support.
		0.527	The program activities are carried out opportunely.
		0.426	The program has helped me learn to value my work.

* Bartlett's sphericity test $p = 0.000$. / * Prueba de esfericidad de Bartlett $p = 0,000$.

** Kaiser-Meyer-Olkin index (KMO) = 0.642. / ** Índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) = 0,642.

*** Total explained variance = 57.6%. / *** Varianza total explicada = 57,6%.

Table 2. Beneficiaries' clusters in terms of attitudes towards the program.
Tabla 2. Grupos de beneficiarios conforme a sus actitudes frente al programa.

Components	Cluster		
	"Reticent participants"	"Associative participants"	"Empowered participants"
Training and personal development	-0.57	0.37	0.45
Service and feedback	-0.16	-0.04	0.20
Future prospects and business ventures	0.12	-1.07	0.45
Commercialization and organizational management	-0.55	0.15	0.55
Associativity	-0.61	0.69	0.31
Dedication to work	-0.12	-0.79	0.57

To summarize, on the one hand, there is a segment of participants whose attitudes reflect a distinct skepticism regarding the program's impact in all aspects despite believing that it has the capacity to generate a positive effect on the overall evolution of their activity. This group differs from the "empowered participants", who present positive attitudes both in terms of the program's particular components and its overall impact. Lastly, the "associative participants" demonstrate significantly positive attitudes towards the program in relation to their psycho-social development, but not in respect to the technical and productive aspects. This contrast could be attributed to the individual circumstances under which the women consulted run their businesses- on a small scale, in an informal context and, in many cases, in addition to home-keeping. This suggests that a large percentage of the program participants, who do not see their activities as a business to expand upon, lack the motivation to analyze in depth and put into practice the specific training provided by the program. This is also linked to the fact that many of the women consulted

appreciate the effect the program had in terms of their personal development and capacity to make contact with other female producers, instead of specifically different aspects of production and management.

Finally, the disconformity of the participants grouped as "reticent" and "associative" regarding the program in relation to the time dedicated to it and to their own production activities would constitute additional evidence that their businesses are not priority.

These results are linked to those obtained by Rico & Gómez (2009), Anthopoulos (2010) and Galié, Jiggins & Struik (2013) who show that rural women regard their activities as a subsidiary support subject to household circumstances, more than as a true business venture the success of which is a priority on a personal level.

In fact, Abramo (2004) states that, in general terms, in Latin America female workers are seen as a "secondary labor force", subordinated to family needs. Specifically, in Chile's case, Fawaz & Rodríguez (2013) illustrate that the presence of a partner and children limits the women's positive attitude towards assuming a productive role, given

that a large percentage of them feel that it has a negative effect on the care they can give to their family.

However, despite all the restrictions affecting their opportunities for growth, this does not mean that the current situation of their businesses cannot have an impact on the empowerment of rural women (31).

To continue, it was relevant to carry out an overview of the program's participants' main characteristics for each of the segments identified. This revealed some significant differences. For instance, the "reticent participants" had the highest concentration of older producers, with an average age of 50.7 years, compared with the profiles of "associative participants" and "empowered participants" that averaged 45.3 and 46.4 years of age, respectively.

In terms of level of education, the participants in the first and third segments differentiated themselves by a greater relative presence of secondary school education (39.4% and 37.9% respectively), whereas in the second segment there was a strong presence of technical training (37.5%). This agrees with both the results of Boza *et al.* (2015), who indicate that in the Metropolitan Region, older people have fewer years of school, especially in rural areas, and with those obtained by Jaime *et al.* (2010) for Indap participants in the central-southern region of Chile, who found that a higher level of education was directly linked to participation in associations.

Furthermore, regarding the availability of services, the "associative participants" segment also showed better access, especially in terms of educational facilities. Likewise, 100% of the participants in this particular segment declared using public transport as a means of transport, compared with 39.4% of the "reticent participants" and 65.5% of the "empowered participants".

Regarding the family unit, several differences can be found among the groups, the first being the number of members. There was up to an average of 3.4 family members in the "reticent participants" cluster, 4 members in the "associative participants" and 4.5 in the "empowered participants". In terms of age distribution, it is possible to observe that the profile with the largest number of children between the ages of 0 and 6 years was the first one, reaching 11.5%, followed by the third and lastly the second cluster, reaching 9.9% and 6.2% respectively. This order is repeated when considering elderly people (65 years and over), with 19.5%; 16.8% and 12.3%, respectively.

Likewise, the segment of "empowered participants" presented a slightly higher percentage of women living without a partner compared to the others, along with a consequent declaration that they make decisions at home unilaterally. So the most favorable evaluations of the program came from participants that belonged to the largest families, and who were often in charge.

Their responsibility implies a greater need to generate income via their production, which can be linked to a higher motivation to assimilate the training provided by the program. This agrees with results already mentioned in Rodríguez & Muñoz (2015) concerning the introduction of Chilean rural women into the labor market.

Concerning the occupations of the participants, it is possible to observe strong contrasts within groups. The most noteworthy of these has to do with self-identification as "housewives", which reached 62.5% in the "associative participants" cluster, whereas 42.4% and 41.4% were observed for the "reticent participants" and "empowered participants" clusters

respectively. In this sense, 81.3% of farmers from the "associative participants" segment indicated that their most important activity was household tasks, compared with 48.5% and 58.6% in the other two segments. This helps to explain both why said participants demonstrated special appraisal of the program in terms of it providing a meeting point and support network, and it being more than a way of improving different technical and productive aspects of their own businesses, as well as their negative evaluation of the time dedicated to the program and their productive activities.

Lastly, regarding the different groups of farmers and their dissimilarities in attitudes towards the program as well as in their opinions on how they see themselves and their businesses, it is to be expected that there would also be apparent specific differences in the income generated.

Effectively, the higher personal income was obtained by the women belonging to the "empowered participants" profile, averaging CLP\$ 91,750 per month, compared to CLP\$ 66,156 for the "reticent participants" and CLP\$ 61,533 for the "associative participants".

In contrast, in the case of total household income, the highest amount was registered for the participants belonging to profile "reticent" (CLP\$ 375,793), followed by profile "empowered" participants (CLP\$ 318,928) and lastly, profile "associative" households (CLP\$ 261,000).

CONCLUSIONS

From the results presented, first it stands out that despite the "Education and training program for rural women" being positively evaluated on an aggregate level by the female farmers consulted,

there were significant differences among participants. Consequently, three specific segments were identified.

On the one hand, a majority group was notorious for holding a reticent view of the expected impact of the different components of the program. This contrasts with another segment of producers who demonstrated notably positive attitudes. Lastly, the third segment identified valued the program's facility to generate social links. In this sense, it was revealed that there is a concurrence between this high regard for the aspects of the program that promote relationships and psycho-social well-being and the participants identifying themselves as "housewives".

Additionally, as previously mentioned, a significant number of women demonstrated a pessimistic attitude in terms of utilizing the technical and managerial training provided by the program. That position seemed to be linked to low motivation in terms of expanding their businesses. At the same time, another interesting result was that the degree to which the women valued the program appears to be related to their household economic vulnerability. In fact, the female farmers with a more positive opinion about the program had a greater economic contribution to their household, as they often lacked additional support. This suggests that the necessity that these women have for their production activity to help alleviate their financial situation, encourages them to seize opportunities to develop their businesses.

From the point of view of public sector action, the results obtained suggest, on the one hand, that this kind of program's impact should be contemplated not only in terms of variations in economic situation, but also in terms of social development and psycho-social well-being.

On the other hand, another circumstance that should be taken into consideration when designing and implementing this type of program is that it seems to be crucial for the participants to be able to run both their household tasks and their production activities simultaneously.

Therefore, given that it is a long term aim to reverse an installed social structure (traditional role distribution), the most suitable option could be to adapt the programs to such circumstances but gradually work (directly or even indirectly) towards bringing about their mitigation.

REFERENCES

1. Abramo, L. 2004. ¿Inserción laboral de las mujeres en América Latina: una fuerza de trabajo secundaria? *Estudios Feministas*. 12(2): 224-235.
2. Aguilar, A.; Carranza, E.; Goldstein, M.; Kilic, T.; Oseni, G. 2015. Decomposition of gender differentials in agricultural productivity in Ethiopia. *Agricultural Economics*. 46(3): 311-334.
3. Amghani, M.; Gholami, H.; Shiri, N.; Shabanali, H. 2013. Obstacles of women presence in Iranian rural management: A case from Osku County. *International Journal of Agricultural Management and Development*. 3(3): 153-158.
4. Anthopoulou, T. 2010. Rural women in local agrofood production: Between entrepreneurial initiatives and family strategies. A case study in Greece. *Journal of Rural Studies*. 26: 394-403.
5. Baca, N.; Herrera, F. 2008. Emergencia de la relación desarrollo rural-género. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*. 48: 223-253.
6. Banco Central. 2016. Cuentas nacionales de Chile. PIB regional 2015. Santiago, Chile. Banco Central. 14 p.
7. Boza, S.; Cortés, M.; Guzmán, F. 2015. Caracterización de pequeños empresarios agrícolas beneficiarios de programas de desarrollo local en la Región Metropolitana, Chile. *Idesia (Arica)*. 33(1): 135-142.
8. Boza, S.; Marcos, G.; Cortés, M.; Mora, M. 2016. Perfiles basados en actitudes hacia los programas de apoyo público de microempresarios rurales de la zona central de Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(2): 161-175.
9. Buendía, I.; Carrasco, I. 2013. Mujer, actividad emprendedora y desarrollo rural en América Latina y el Caribe. *Cuadernos de desarrollo rural*. 10(72): 21-45.
10. Castro, A. 2012. Familias rurales y sus procesos de transformación: Estudio de casos en un escenario de ruralidad en tensión. *Psicoperspectivas*. 11(1): 180-203.
11. Contzen, S.; Fortney, J. 2016. Family farming and gendered division of labour on the move: a typology of farming-family configurations. *Agriculture and Human Values*. In press.
12. Croppenstedt, A.; Goldstein, M.; Rosas, N. 2013. Gender and Agriculture: Inefficiencies, segregation, and low productivity Traps. *The World Bank Research Observer*. 28(1): 79-109.
13. Damisa, M. A.; Yohanna, M. 2007. Role of rural women in farm management decision making process: Ordered probit analysis. *World Journal of Agricultural Sciences*. 3(4): 543-546.
14. FAO. 2010. The use of monitoring and evaluation in agriculture and rural development projects. Rome. FAO/World Bank. 60 p.
15. Farmar-Bowers, Q. 2010. Understanding the strategic decisions women make in farming families. *Journal of Rural Studies*. 26: 141-151.
16. Fawaz, M. J.; Soto, P. 2012. Mujer, trabajo y familia. Tensiones, rupturas y continuidades en sectores rurales de Chile central. *Revista de Estudios de Género: La Ventana*. 4(35): 218-254.
17. Fawaz, M. J.; Rodríguez, C. 2013. Mujeres rurales y trabajo en Chile central. Actitudes, factores y significaciones. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 10(72): 47-68.
18. Ferrada, L.; Zarzosa, P. 2010. Participación laboral de las mujeres en las regiones de Chile. *Universum (Talca)*. 25(2): 79-99.

19. Fisher, M.; Kandiwa, V. 2014. Can agricultural input subsidies reduce the gender gap in modern maize adoption? Evidence from Malawi. *Food Policy*. 45: 101-111.
20. Fletschner, D.; Kenney, L. 2011. Rural women's access to financial services. Credit, savings and insurance. FAO-ESA Working Paper. 11-07.
21. Galié, A.; Jiggins, J.; Struik, P. C. 2013. Women's identity as farmers: A case study from ten households in Siria. *Wageningen Journal of Life Sciences*. 64-65: 25-33.
22. INE. 2007. Cambios estructurales en la agricultura chilena. Análisis Intercensal 1976-1997-2007. Santiago. Chile. 69 p.
23. Jaime, M.; Salazar, C.; Araya, S.; Vergara, J. 2010. Niveles de participación en la pequeña agricultura ¿De qué depende que los productores se involucren en sus organizaciones? *Economía Agraria*. 14: 9-21.
24. Jolliffe, I. T. 2002. Principal Component analysis. New York. Springer. 487 p.
25. Johnson, R. A.; Wichern, D. W. 2007. Applied multivariate statistical analysis. New Jersey. Pearson Prentice Hall. 773 p.
26. Karamba, R. W.; Winters, P. C. 2015. Gender and agricultural productivity: implications of the farm input subsidy program in Malawi. *Agricultural Economics*. 46(3): 357-374.
27. Kieran, C.; Sproule, K.; Doss, C.; Quisumbing, A.; Mi Kim, S. 2014. Examining gender inequalities in land rights indicators in Asia. *Agricultural Economics*. 46(1): 119-138.
28. Kotevska, A.; Martinovska-Stojcheska, A.; Öhlmér, B.; Dimitrievski, D. 2013. Attitude of Macedonian farmers towards EU accession. *Agroeconomia Croatica*. 3(1): 9-17.
29. López Lluch, D. B.; Zapata, J. L.; del Campo Gomis, F. J. 2016. Análisis preliminar de la percepción de los trabajadores del campo acerca del sistema de formación continua en la Región de Murcia. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 177-193.
30. Malhostra, N. K. 2008. Investigación de Mercados. Mexico DF. Prentice Hall Mexico. 864 p.
31. Markantoni, M.; Van Hoven, B. 2012. Bringing 'invisible' side activities to light. A case study of rural female entrepreneurs in the Veenkoloniën, the Netherlands. *Journal of Rural Studies*. 28: 507-516.
32. Marzo-Navarro, M.; Pedraja-Iglesias, M.; Vinzón, L. Percepción de los residentes sobre el desarrollo de la micro región Tierra de Palmares desde la perspectiva del turismo rural integrado. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. En prensa.
33. 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.
34. Moser, C. 1989. Gender planning in the Third World: meeting practical and strategical gender needs. *World Development*. 17(11): 1799-1825.
35. Namdar-Irani, M.; Sotomayor, O. 2011. Le conseil agricole au Chili face à la diversité des agriculteurs. *Cahiers Agricultures*. 20: 352-358.
36. NEPAD. 2013. Agriculture in Africa, transformation and outlook. Johannesburg. NEPAD. 72 p.
37. ODEPA. 2013. Región Metropolitana. Información regional 2013. Santiago. Chile. 17 p.
38. Quiles, M. N.; Marichal, F.; Betancort, V. 1998. Las actitudes sociales. In: Quiles, M. N. (Ed.). *Psicología Social: Procesos Interpersonales*. Madrid. Editorial Pirámide. 131-159.
39. Ragasa, C.; Berhane, G.; Tadesse, F.; Tafesse, A. S. 2012. Gender differences in access to extension services and agricultural productivity. *ESSP Working Paper*. 49.
40. Rico, M.; Gómez, J. M. 2009. Análisis de los enfoques sobre género y desarrollo: algunas reflexiones acerca de la mujer y su incorporación al proceso de desarrollo rural. In: Orejas, J. A.; Retortillo, O.; Piñeyroa, A. J. (Coord.). *Mujer, empresa y medio rural: V Congreso Internacional Mercado de Trabajo y Relaciones Laborales*. Palencia. Diputación de Palencia. 239-274.
41. Rodríguez, C.; Muñoz, J. 2015. Participación laboral de las mujeres rurales chilenas: tendencias, perfiles y factores predictores. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 12(75): 77-98.

42. Ruíz, L. E. 2012. Relaciones de género y mercados de derechos de agua y tierra en Chiapas. *Región y Sociedad*. 24(53): 55-89.
43. Sabaté, A. 2009. La dimensión de género en las políticas españolas y europeas de desarrollo rural. In: *Unión de Pequeños Agricultores (UPA)* (Ed.). *Agricultura familiar en España*. Madrid: UPA. 103-108.
44. Sánchez-Toledano, B. I.; Kallas, Z.; Gil, J. M. 2017. Importancia de los objetivos sociales, ambientales y económicos de los agricultores en la adopción de maíz mejorado en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 49(2): 269-287.
45. 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.
46. Taylor, V. 1999. *A quick guide to gender mainstreaming in development planning*. London, UK. Commonwealth Secretariat. 40 p.
47. Tejada, H. 2014. Venta directa en ferias locales: el proceso de modernización de las ferias libres en Chile. In: Sotomayor, O.; Rodrigues, M.; Rodríguez, A. (Coord.). *Agricultura familiar y circuitos cortos: Nuevos esquemas de producción, comercialización y nutrición*. Santiago. Chile. CEPAL. 93-96.
48. Traub, A.; Gajardo, S. 2012. *El sector silvoagropecuario en la Región Metropolitana de Santiago*. Santiago. Chile. ODEPA. 14 p.
49. Valdés, X.; Rebolledo, L. 2015. Géneros, generaciones y lugares: cambios en el medio rural de Chile Central. *Polis (Santiago)*. 14(42): 491-513.
50. Viana-Silva, C.; Valente, A. 2013. *Agricultura familiar, género e dinâmicas sociais: um estudo sobre a construção territorial do assentamento Nova Lagoa Rica*. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. 51(2): 387-400.
51. Wichelns, D. 2015. Achieving water and food security in 2050: outlook, policies, and investments. *Agriculture*. 5: 188-220.
52. Wiig, H. 2013. Joint titling in rural peru: impact on women's participation in household decision-making. *World Development*. 52: 104-119.
53. World Bank, 2012. *World development report 2012: gender equality and development*. Washington DC. World Bank. 426 p.
54. Zambrano, A.; Bustamante, G.; García, M. 2009. Trayectorias organizacionales y empoderamiento comunitario: Un análisis de interfaz en dos localidades de la región de la Araucanía. *Psykhé*. 18(2): 66-78.

A comparison between tourists' profiles in two Italian wine routes

Una comparación entre los perfiles de los turistas de dos rutas del vino italiano

Luigi Galletto

Originales: *Recepción*: 18/05/2015 - *Aceptación*: 05/07/2016

ABSTRACT

The study presents a comparative analysis of the wine tourism demand characteristics on two Italian wine routes. The research focuses on the more significant aspects that contradistinguish the wine tourists who frequent the Piave Wine Road and the Soave Wine Road, relying on 576 tourists' interviews. Through logistic regression, the identified variables may increase the relative propensity for a wine tourist to choose one or other itinerary. The results confirm a rather significant diversity between the two profiles (84% of cases are correctly classified). They show that the aspects that imply a greater propensity to travel along the Piave Wine Road rather than the Soave one correspond to an elderly foreign, university graduate tourist who have travelled for more than 3 days. This tourist pursues cultural activities, visits friends or acquaintances and tours with them. On the contrary, the latter one is more often preferred by someone aged less than thirty, who has learned of the route on a tourist board. He is less inclined to buy local wines and he spends less than 20 euro per meal. In this road is much more common the tendency to consider the wine tourism experience complete. Understanding the aspects that distinguish own wine tourists from other routes tourists allows Road Associations to position themselves better in an increasingly competitive market, in order to prepare appropriate territorial marketing strategies in relation to the wine tourism target that they intend to reach.

Keywords

wine route • wine tourist profile • logistic regression

Professor of Wine Economics. Centro Interdipartimentale Ricerche Viticole ed Enologiche (CIRVE). Università degli Studi di Padova. Agripolis. Viale dell'Università 16. 35020. Lengaro (PD) Italia. luigi.galletto@unipd.it

RESUMEN

El estudio presenta un análisis comparativo de las características de la demanda de turismo del vino en dos rutas del vino italiano. En particular, la investigación se centra en los aspectos más importantes que distinguen a los turistas del vino que frecuentan la Ruta del Vino del Piave y la Ruta del Vino Soave basándose en 576 entrevistas. A través de regresión logística, se pueden identificar las variables que más aumentan la propensión relativa para un turista del vino a elegir uno u otro itinerario. Los resultados confirman una diversidad bastante significativa entre los dos perfiles (84% de los casos son clasificados correctamente). Los resultados muestran que los aspectos que implican una mayor propensión a viajar a lo largo de la ruta del vino Piave en lugar de la ruta del Soave son: turistas ancianos, graduados, extranjeros, viajando por más de 3 días, que realicen actividades culturales, visitas a amigos o conocidos y viajar con ellos. Por el contrario, la preferencia por la segunda ruta se refleja mejor en los jóvenes menores de treinta años que han conocido el camino a través de organizaciones de turismo, están menos dispuestos a comprar vinos locales y gastan menos de 20 euros por comida. En esta ruta, es mucho más común la tendencia a considerar la experiencia del turismo del vino completa. El conocimiento de los aspectos que distinguen a los turistas del vino permite posicionarse adecuadamente en un mercado cada vez más competitivo y preparar estrategias de marketing apropiadas en relación con el target del turismo del vino que desean lograr.

Palabras clave

ruta del vino • perfil del turista del vino • regresión logística

INTRODUCTION

Wine or enological tourism is a type of tourism based on the promotion of a local product: wine. Wine tourism has been the subject of economics studies since the 1990s (33). These studies have regarded both the supply of and demand of economics experiences that, according to some authors (30), aren't much wider than simple services focused on the two characteristic organizations: wine festivals and wine routes.

The former are frequent mainly in the New World Countries, the latter have well-established roots in some Countries of the Old World (*e.g.* Rhein Weinstrasse), but they have found more and more favor with the public in some wine-growing areas of the New World.

Wine routes are organizations of wine growers and others take holders connected to the world of wine or the territory where one or more types of wine are produced.

They compete to provide a mix of products, services and experiences that can satisfy the expectations of the wine tourism demand, generating added value not only for their members, but also for other stakeholders in the area. And the closer these itineraries are each other the higher is the level of competition. If the incentive of price is undoubtedly important for the success of a wine route in many settings, its ability to attract one or more sectors of wine tourists in order to choose it instead of another one is

equally important. Therefore, complete information on the tourists who visit the wineries on a route is really important in order to identify an appropriate strategy of territorial marketing that benefits all the participants. This strategy must consider tourists' profiles visiting wineries in the nearby routes because they are competing each other. Therefore, the actions can differ whether the tourists travelling along two or more nearby routes constitute a fundamentally homogeneous group or present rather marked differentiating elements for each route.

The awareness that marketing is essential for the success of wine tourism has led to many studies on the subject of the segmentation of wine tourists. It has emerged that there are no wine tourist stereotypes; therefore, it is fundamental to identify the differences in order to reach the suitable target of the offer (8, 28).

Many approaches and applications have been applied in different geographical areas (3).

According to the standard socio-demographical characteristics (6, 13, 16, 31), the classification of wine tourists has been based on the interest in visiting wineries and on information on the offered wine (11), on the different perceptions of the visitors of the winery characteristics (12), on the level of involvement in the world of wine (4), on the type of sensations sought during the visit to wineries (15).

Barth and Salazar (2011) investigated the link between wine purchases at wineries and those made in day-to-day life, while Chang *et al.* (2002) combined wine purchases with the trip characteristics. However, the principal wine tourist reasons to make the excursion are of interest to the researchers in several geographical areas (1, 2).

The factors defining the choices and behaviors of wine tourists have been studied in North America: Brown (2005) and Getz (2006) analyzed the demand for wine tourism destinations in an important Canadian town (Calgary). Sparks (2007) applied the theory of planned behavior to identify the factors that determine the intentions of wine tourists; Geide *et al.* (2008) highlighted the role of preferences and motivations in the segmentation of wine tourists in Virginia.

Segmentation can be a complex operation, combining demographic, psychological and experiential variables with the purchasing behavior in a winery, the involvement of wine tourists and their information on wine (29). If Marzo-Navarro and Pedraja-Iglesias (2010) showed the existence of two segments in Spain in other researches on profiles, there are several and various categories of wine tourists. In general, a prominent variety prevails in terms of socio-demographical characteristics, attitudes and life styles.

Only a few studies considered the wine tourists' profiles linked to a specific wine route. Hashimoto and Telfer (2003) defined different profiles for the same route and Hojman and Hunter-Jones (2012) considered the heterogeneity of demand among the different routes in Chile. In Italy, the identification of a specific wine tourist out line associated with a wine route was the subject of the Galletto and Galletto's research (2010).

However, we do not know any paper comparing the wine tourist outlines in different routes, and this is the aim of research.

From this point of view, we have verified if two routes relatively close each other can be associated with two typical wine tourist profiles referring to variables commonly used in studies on wine tourists.

The both routes we have selected are sited in the Venetian region, in Italy, where wine tourism has presented a rapid growing in recent years.

Researches on wine tourism demand have used different techniques of multivariate analysis, such as confirmatory factorial analysis, principal components analysis, cluster analysis and logistic regression.

The last one seems to be the most qualified to achieve our aims. Its previous applications on wine tourism have considered various aspects: a) differentiating the level of involvement of wine consumers, *i.e.* between supporters and beginners (24, 35); b) discriminating between high and low spending potential wine tourists (22); c) specifying the factors of the approval deriving from wine tourism activities (23, 27); d) identifying the factors that make a trip along a wine route more probable (26); e) specifying the reasons that lead to the purchase of wine at festivals (9); f) delineating some consumers' features concerning both the participants in wine-tasting events at agritourists (18) and the visitors to wineries in the Northern Appalachian States (34).

In this study, we used logistic regression to identify the differences characterizing the two studied wine roads customers.

The hypothesis to be verified is that the two routes differ not only in terms of landscape and in terms of enological supply, but also because of the specific wine tourist profile, that distinguishes one another.

MATERIALS AND METHOD

The routes we investigated are the Piave Wine Road (PWR) and Soave Wine Road (SWR), which are located at a distance of about 100 km. The Piave

wines territory is between the provinces of Venice and Treviso, in eastern Veneto, on a vast plain delimited by the Adriatic Sea at the south and crossed by the Piave River. Piave DOC Wines include both white (Chardonnay, Pinot bianco, Pinot grigio, Verduzzo and Tai) and red wines (Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon Merlot, Pinot nero and Raboso Piave).

The PWR is an itinerary of approximately 170 kilometers that starts and ends in Conegliano. It winds both on the right and left of the Piave River, therefore it is possible to visit places of cultural interest (Roman Time archeological sites, several Venetian Villas, as well as the sites of the Great War).

The PWR Association has about 80 members, mainly wineries. At the time of this research, it was reorganized, thanks to the most recent redefining of the route.

The Soave wine producing area is situated in western Venetian region, not far from Verona. It is a beautiful land where tourists can admire hills, volcanic soils, gentle slopes and green areas of vineyards. It is a popular tourist destination for Italians and foreigners, thanks to the easy motorway and railway links. Wines totally depend on the local variety named Garganega.

The SWR, a much shorter itinerary, extends as far as 50 Km, with various ramifications among vineyards, churches, villas and castles and it covers the main *crus* for the production of Soave.

The SWR Association was founded in 1999. There are presently (2014) 130 members, including wineries (privates and cooperatives), agritourists, restaurants, hotels and companies offering typical local products. It is active in coordinating the members with the ambition of creating the Soave area as one of the principal circuits for the enological tourism.

The data utilized were obtained using interview based on a questionnaire. The analysis was conducted during the weekends in 2012 spring, a busy period for the wineries working along the two roads. Besides the usual socio-demographical questions, the questionnaire included other information about the wine tourists in terms of a) motivations, b) type and duration of the trip, c) acquisition of information on the road, d) previous wine tourism experiences, e) accommodation preferences, f) willingness to pay for a meal, g) purchase of wines and h) the opportunity of repeating the same route.

Having considered the sample size in similar research on the consumer's profile (22, 26, 35), we planned 350 interviews in each wine road. Because of uncomplete or uncoherent answers led us to rely on 576 cases, a good number for performing statistical valid analyses. Interviewees were casually selected among people available to answer the questionnaire. In case of people travelling in group, we tried to individuate a sort of inside "guide" or "chief".

The logistic regression model verifies the differences between the two wine tourist profiles as well as provides the contribution of the significant variables for classifying a wine tourist as a customer of one route rather than the other one. Therefore, it offers a prognosis (or propensity) relative to deciding on the former or the latter route.

Concisely, in the logistic regression model, the dependent variable belongs to one of the two roads, and it assumes a value 1 for the PWR and 0 for the SWR. Its probability is equal to $1/1(1+e^Y)$, with Y defined by the linear combination:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n, \quad (1)$$

where:

$\beta_0 =$ constant, *i.e.* = the value of Y when the value of all the independent variables are equal to 0

$\beta_1 - \beta_n =$ the estimates of the parameters

$X_1 - X_n =$ characteristics of the wine tourists

The model is estimated by logit transformation, which results as a linear function in the explanatory variables. More exactly, Logit is defined as the logarithmic transformation of the propensity (odds): $\text{Log}(p/(1-p))$, where p is the probability of favorable cases. Logit transfers the probability from the interval (0,1) to the whole axis. So logit values equal to zero are associated to the probabilities of success equal to 1/2, negative values are associated to the probabilities of success less than 1/2 and positive values are linked to the probabilities of success greater than 1/2.

In addition to the β_i coefficients, we have been estimated the marginal effects for those variables that are significant at a p level < 0.1. They indicate the variation on the probability that a wine tourist will belong to the PWR due to a given feature. After having specified that there is only binary explanatory variables, this change is given by: $p(X_{ij} = 1) - p(X_{ij} = 0)$.

Table 1 (page 162) lists the characteristics used for the logistic regression in terms of frequency distribution. Some important variables are not included in the table 1 (pág. 162). They are the level of income, the residence and the kind of profession. In fact, they were not considered because there were too many missing data (from around a third to two thirds of interviewees). For this reason, it was preferred to use only the variables surveyed for all the interviewees and to maintain a good sample size, thinking that these variables would be adequate to pursue the objectives of the research.

Table 1. Frequency distribution of the variables used in the logistic regression models.**Tabla 1.** Distribución de frecuencias de las variables usadas en los modelos de regresión logística.

	%
Piave Wine Road	53.70
Soave Wine Road	46.30
Age: under 30 years	27.95
Age: between 30 and 60 years§	45.14
Age: over 60 years	26.91
Nationality: Italian §	64.58
Nationality: foreign	35.42
Male§	62.80
Female	37.20
Education: primary school	3.04
Education: secondary school	9.01
Education: high school§	52.95
Education: university	35.00
Motivation: visiting friends or acquaintances	20.42
Motivation: cultural trip	27.58
Motivation: holiday trip or other§	52.00
Day trip	31.30
Trip in 2 or 3 days§	37.50
Trip in more than 3 days	31.20
Trip with relatives or alone§	50.97
Trip with friends or acquaintances	32.81
Organized trip	16.32
The knowledge of the route: from friends or acquaintances	25.80
The knowledge of the route: from traditional advertising	10.33
The knowledge of the route: travel agents or tourist boards	25.87
The knowledge of the route: internet	10.10
The knowledge of the route: other§	27.90
Previous experience of wine routes§	50.17
The first experience of wine routes	49.83
Overnight staying in hotel or guest house§	58.33
Overnight staying in agritourist	15.10
Other kinds of overnight staying	13.54
Overnight staying with relatives or friends	13.03
The purchase of local wines: Yes§	66.68
The purchase of local wines: No	20.57
The purchase of local wines: Perhaps	12.75
The intention to repeat the route: Yes §	76.48
The intention to repeat the route: No	3.83
The intention to repeat the route: Perhaps	19.69
Willingness to pay less than 20 € for a full meal	11.11
Willingness to pay from 20 to 30 € for a full meal §	64.76
Willingness to pay more than 30 € for a full meal	24.13

§ Reference variable in the logistic regression (=0).

§ Variable de la referencia en la regresión logística (=0).

RESULTS

Sample features

The distribution of interviewees between the two routes seems adequate. Regarding socio-demographical aspects, both the young and the elder people seem well represented, the number of graduates at university is reliable, moreover the foreigners are more than a third and the percentage of women appears to be in line with many investigations on wine tourists and, in general, on wine drinkers both in Italy and in Europe. People visit the wineries mainly for a short holiday for cultural interests or for study.

The prevailing period of the trip is about 2-3 days; a day trip and longer ones are also well represented. About 50% of these are family or unaccompanied trips, followed by trips among friends or acquaintances, while it is limited the percentage of the travelers in trips organized by travel agents with provided transport. It is nearly equal the division between those who experience a wine route for the first time and who has already experienced them at least once.

How they get to know the routes is quite different. Travel agents and tourist boards are used by more than a quarter of the interviewees, while to get to know about the trip from friends and acquaintances is the most used way of deciding a wine route. Only a tenth of the samples obtained the information by internet and another tenth by traditional forms of advertising (television, radio, the printed press).

The prevalent type of night accommodation is a hotel or a guest house, followed by an agritourist. A quarter of the sample does not buy wines at the wineries, but they only taste them during their visits. A few of them do not want to repeat the itinerary not for dissatisfaction but because they want to experience new wine routes: it could be the consequence of the presence of "route hunter" tourists.

Finally, the willingness to pay for a meal is at an intermediate level for almost two thirds of the samples.

Logistic regression models

Variables in table 1 (page 162) can be divided into three groups: a) socio-demographic (they cover from age to levels of education), b) related to the characteristics of the trip as a wine tourist (they cover from the trip duration to the wine route experience), and c) related to choices of a wine tourist. These groups were firstly introduced separately in the logistic regression model and then all together.

If we consider the indicators on the validity of the logistic regressions and on the level of adaptability to the observed data (table 2, page 164), the first three models, where the three groups of variables were considered separately, show an absolutely higher contribution of the aspects related to the trip and the socio-demographic and choice aspects follow in the list. These models are partial even if they demonstrate a great ability in classification chiefly in the second model. Moreover, the full model appears to be equally suitable according to the explained variability.

The analysis of the odds ratio (e^B) shows extremely high values for two characteristics: The former is the organized trips and the latter is the learning about the route via internet.

The odds ratio in favor of the PWR compared to the SWR is less than 86% for those who obtained information via internet in comparison with other methods and it is 72% for those who belong to an organized group, comparing them to those who travel alone or with relatives.

Table 2. Results of logistic regression models. Main statistical indicators.**Tabla 2.** Resultados de los modelos de regresión logística. Principales indicadores estadísticos.

Model	Log likelihood -2	Cox and Snell R ²	Nagelkerke R ²	Hosmer-Lemeshow χ^2 (8 g.l.)	Correctly classified cases (%)
1 - Socio-demographic variables	613.081	0.271	0.362	13.110	72.7
2 - Trip variables	468.864	0.433	0.578	8.362	82.6
3 - Choice variables	673.140	0.186	0.249	3.630	68.4
4 - All variables	314.398	0.565	0.755	10.832	89.7
5 - All variables*	400.658	0.494	0.660	5.925	83.8
6 - Step selection*	417.897	0.479	0.640	9.102	83.8

* Excluding the variables: organized trip and learning about the route via internet.

* Excluyendo las variables: viaje organizado y aprendizaje sobre la ruta vía internet.

While corresponding to the actual sample, these latter pieces of evidence appear to be rather incidental, *i.e.* linked to the fact that at the time of the survey, unlike the SWR, the PWR had a scarcely functioning internet site and the organization of the trips in collaboration with other tourism stakeholders was still at an embryonic stage. Therefore, it was decided to re-estimate the models omitting these two variables in model 5 (table 3, page 165), which the following analysis refers to. In this model, it is immediately obvious that some characteristics have little implication in explaining the probability of belonging to the route. These are 10 variables out of 25: three of them are socio-demographic, three of them are linked to the trip and four variables are connected to the choices.

However, this does not imply that these variables have no influence in defining the profile of the wine tourist on each route. They are associated to a consistent level of collinearity with the other independent variables and, in such a way, they provide redundant information for determining the propensity to the trip along one or another

route. Only the gender is not significant in all the models. A subsequent estimation with the stepwise method selects the 15 variables that are fully significant.

According to table 2, this regression (Model 6) shows a level of adaptation only slightly lower than that of the previous model and it has an equal classification capacity. In addition, the values of the coefficients are not very different from those in Model 5.

Main discriminating variables

Age and nationality discriminate more than the level of education. Infact, a young person is the 50% less expected to drive the PWR than a wine tourist of intermediate age (from 30 to 60 years), while the 29% of people over 60 years of age decided to do so. Likewise, the probability for a foreigner is the 28% higher than for an Italian tourist for the same route. As the level of education rises there is an increasing odds ratio, even if only the coefficient related to the graduate wine tourist is significant.

Table 3. Logistic regression. Independent variables used in Model 5.
Tabla 3. Regresión logística. Variables independientes usadas en el Modelo 5.

Variable	B	St. Err.	Wald	Sign.	Exp(B)	Marginal effect
Age: under 30 years	-2.308	0.36	41.166	0.000	0.099	-0.5009
Age: over 60 years	1.289	0.348	13.72	0.000	3.629	0.2871
Female	-0.185	0.271	0.464	0.496	0.831	
Nationality: foreign	1.236	0.322	14.699	0.000	3.442	0.2835
Education: primary school	-1.664	0.946	3.092	0.079	0.189	-0.3698
Education: secondary school	-0.215	0.51	0.177	0.674	0.807	
Education: university	0.666	0.291	5.235	0.022	1.946	0.1622
Motivation: visiting friends or acquaintances	1.105	0.354	9.750	0.002	3.020	0.2717
Motivation: cultural trip	1.284	0.339	14.317	0.000	3.609	0.2999
Day trip	0.294	0.378	0.604	0.437	1.342	
Trip in more than 3 days	1.020	0.36	8.044	0.005	2.773	0.2127
Trip with friends or acquaintances	0.899	0.309	8.460	0.004	2.457	0.2204
The knowledge of the route: from friends or acquaintances	0.678	0.352	3.712	0.054	1.970	0.1532
The knowledge of the route: from traditional advertising	0.049	0.468	0.011	0.917	1.050	
The knowledge of the route: travel agents or tourist boards	-0.839	0.358	5.509	0.019	0.432	-0.2249
The first experience of wine routes	2.023	0.29	48.664	0.000	7.560	0.4653
Overnight staying in agritourist	1.209	0.47	6.628	0.010	3.350	0.2475
Overnight staying with relatives or friends	1.200	0.458	6.857	0.009	3.319	0.2407
Other kinds of overnight staying	0.386	0.423	0.832	0.362	1.471	
The purchase of local wines: No	-1.191	0.353	11.357	0.001	0.304	-0.2800
The purchase of local wines: Perhaps	0.745	0.435	2.935	0.087	2.107	0.1604
The intention to repeat the route: No	-1.477	0.863	2.933	0.087	0.228	-0.3510
The intention to repeat the route: Perhaps	0.720	0.348	4.295	0.038	2.055	0.1813
Willingness to pay for a full meal < 20 €	-2.126	0.458	21.563	0.000	0.119	-0.4405
Willingness to pay for a full meal > 30 €	-0.372	0.308	1.462	0.227	0.689	
Constant	-2.235	0.534	17.518	0.000	0.107	

Being the first experience of a wine route is the variable that most differentiates the profiles of the tourists on the two routes. The "beginner wine tourists" marginal effect shows that they are 47% more expected to prefer the PWR in comparison with expert wine tourists.

A person with cultural objectives is more disposed to follow the PWR rather than the SWR. Moreover, the wine tourist, who travels for visiting friends or relatives, usually prefers the PWR in comparison with someone who travels mainly for a holiday, and it corresponds well to the choice of this route performed by those who travel with friends or acquaintances.

A person, who has obtained information by friends or acquaintances or who stays over night with friends or relatives, presents a higher propensity for the PWR. Therefore, it could really be known as the "wine road of friendship or company", as human relations play an important role.

Those who follow the SWR more often obtain information from travel agents and tourist boards in comparison with the wine tourists on the PWR, and there is a greater participation in organized trips. Indeed, a tourist who obtained information from these sources has a 22.5% lower probability in favor of the PWR than a person who used other methods. A long trip is the 21% more probable along the PWR than a trip of average duration. Similarly, a greater propensity for this route is shown by those who spend the night either staying with friends or in an agritourist (odds ratio higher than three for both variables).

If a propensity for cheap accommodation distinguishes the wine tourist of the PWR, travelers of the SWR want a less expensive meal and they are less incline to buy wine. Indeed, the probability to pay no more than 20 euro for a meal is 44%

less for people who follow the former route in comparison with someone willing to pay an intermediate sum. Moreover, a tourist, who does not intend to purchase wine in comparison with one who is instead certain of doing so, is 28% less probable in this route. Finally, people, who have frequented the PWR, show a greater hesitancy about repeating the itinerary in the future.

DISCUSSION

Previous results shows that it is neither possible to identify a wine tourist stereotype nor give a unilateral definition of his behavior. They confirm what Charters and Ali-Knight (2002) stated, *i.e.* it is difficult to define wine tourists within a single homogeneous group and it is more realistic to describe the different traits in relation to the investigated areas. In addition to the above-mentioned studies on the wine tourist's demand, they have demonstrated the key role of wine roads in defining the wine tourist local market. In fact, each of the two routes is distinguished by a specific wine tourist profile that is highly differentiated and defined by a set of variables commonly used in segmentation processes. Some comments seem useful for a better understanding of the reasons underlying the main differences between the two profiles.

The particularly higher age of the wine tourist on the PWR can be related to the presence of many elderly residents in the area of the route who return periodically to stock up with their preferred wines (14).

The higher number of foreign wine tourists on the PWR may be due both to the vicinity of this itinerary to the cities of Venice and Treviso and the capacity of the stakeholders to arouse the interest

of the many foreigners who are in the Adriatic beach resorts, while the nearest competitor is the short Lison Pramaggiore Wine Road. This choice happens much less on the SWR, because the foreign tourists are on holiday near Lake Garda or they want to visit Verona and therefore they have many opportunities of wine tourism itineraries (e.g. Valpolicella, Custoza and Bardolino Wine Roads). Graduate people prefer the PWR because few young people have reached that level of education and a cultural motivation.

In order to understand the high marginal effect of the first experience in favor of the PWR, it should be considered that the visit to the wineries may be a stopgap, *i.e.* a spontaneous resolution when weather is bad for many beach vacationers or an unplanned digression for a large section of tourists who did not know the wine tourism before. Because of the great resources of wine routes in the province of Verona, a lot of people who just experienced wine routes spend time at the SWR and therefore they are more acquainted with wine tourism excursions.

About trip motivations, the possibility of combining the itinerary with a visit to Venice also undoubtedly increases the cultural reasons for the PWR tourists. Moreover, the high rate of visitors of the SWR, who knew the route by travel agents and tourist boards, clearly depends on the SWR Association's strategy of closely involving these entities.

The length of the itinerary, the greater foreign participation, more varied motivations encourage longer trips for the PWR wine tourists, compared to the SWR ones, because it has a much shorter itinerary with wineries very close each other, and if a tourist is in a hurry he can taste wine or organize other activities.

The PWR tourists can choose cheaper accommodations than the usual hotels and guest houses for their overnight stayings.

A high frequency of young and limited income travelers on the SWR may contribute to the willingness to pay less for a meal for those touring this road. That is why these tourists purchase less local wine along the itinerary; therefore, there is a larger proportion of "pure tasters" in comparison with those on the PWR.

The doubt on repeating the experience is higher among those who travelled the PWR because the involved area is very large, the production of wine is rather various and there are several historical sites and monuments. Tourists need to consider all these elements when they decide to plan another trip in the same area.

Even though there is a marked differentiation between the wine tourists on the two examined wine routes, its generalization is not possible on other wine tourism contexts because it must be confirmed by further investigations. Some peculiarities of this research appear to be relevant and they may have significantly widened the gap between the wine tourists' profiles on the two routes such as: a) even if both routes can be reached by car in an hour, they are not adjacent; b) the SWR is mainly located in a hilly area, while the PWR is an itinerary entirely on the plain; c) the surrounding areas have characteristics that can strongly influence the profile of the wine tourist who approaches these routes; d) there is a significant gap between the organizational level of the two routes, especially in terms of creativity of the two Associations. Indeed, if these peculiarities diminish or disappear, the differences between the wine tourist profiles of two routes might become less marked even if no less interesting.

CONCLUSIONS

The logistic models adequately confirm the hypothesis on the existence of different wine tourist profiles between two wine routes located in the same region. Most of the employed variables act as a distinction between the wine tourists of the two routes even if variable sub-groups determine a good classification of the sampled cases. Especially features related to trips differentiate the two profiles. In fact, the first experience as a wine tourist plays the main role and his motivation is the second important consideration. Among the socio-demographic variables, the most relevant ones are age, foreign participation and education.

The choice variables have a less defining influence, although willingness to pay for food and buying wine at the wineries are quite significant.

The obtained results interest the stakeholders belonging to the wine routes. For this purpose, if wine producers need to differentiate themselves from the competitors on the other routes by emphasizing the characteristics that make them exclusive (*e.g.* the grape type, the soils and climate that contribute to differentiate wine qualities, the cultural tradition, etc.), they must also concentrate their competitive offers towards one or more segments of wine tourists. In fact, positioning and targeting are both

part of an overall strategy of territorial marketing that the wine routes must put into practice to compete in an increasingly globalized arena.

If this competition concerns even distant wine tourist destinations, it is mostly true for wine routes in competition in the same geographical area, both in providing services that satisfy the demands of their main tourists, and identifying new factors to attract tourists with different characteristics. It is a case of modelling the supply on the basis of the real requirements of the tourists, promoting every resource of the local territorial system and making an efficient use of the public funding that is often available for wine tourism activities.

For example, it emerged from the analysis that either SWR stakeholders could try to attract more wine tourists through the organization of events and a better promotion of the territorial cultural aspects or they could study initiatives as a passport for the road in order to encourage people to come back. Instead, the PWR stakeholders could attract younger tourists improving their marketing by internet, travel agents and tourist boards, in such a way they can reduce the portion of people who have not yet decided their coming back.

REFERENCES

1. Alant, K.; Bruwer, J. 2004. Wine tourism behavior in the context of a motivational framework for wine regions and cellar doors. *Journal of Wine Research*. 15(1): 27-38.
2. Alebaki, M.; Iakovidou, O. 2010. Segmenting the Greek wine tourism market using a motivational approach. *New Medit*. 9(4): 31-40.
3. Alebaki, M.; Iakovidou, O. 2011. Market Segmentation in Wine Tourism: A Comparison of Approaches. *Tourismos. An International Multidisciplinary Journal of Tourism*. 6(1): 123-140.

4. Alonso, A. D. 2008. An investigation of wine involvement among travelers in New Zealand. *e-Review of Tourism Research*. 6(1): 1-9.
5. Barth, S.; Salazar, J. 2011. Wine tourism and consumer behaviors related to wine purchases. *Journal of Tourism Insights*. 1(1): 1-6.
6. Boatto, V.; Barisan, L.; Montedoro, M. 2006. Domanda enoturistica: l' esempio del Trevigiano. *VQ*. 1(6): 16-20.
7. Brown, G.; Getz, D. 2005. Linking wine preferences to the choice of wine tourism destinations. *Journal of Travel Research*. 43(3): 266-276.
8. Brunori, G.; Rossi, A. 2000. Synergy and coherence through collective action: some insights from wine routes in Tuscany. *Sociologia Ruralis*. 40(4): 409-423.
9. Bruwer, J. 2002. South African wine routes: some perspectives on the wine tourism industry's structural dimensions and wine tourism product. *Tourism Management*. 24(4): 423-435.
10. Chang, T. C.; Kim, M. K.; Kim, S. H. 2002. Profile of winery visitors of Michigan wineries based on behavioral segmentation. In *Proceedings of the 2002 Northwestern Recreation Research Symposium*. Bolton Landing, New York. 133-139.
11. Charters, S.; Ali-Knight, J. 2002. Who is the wine tourist? *Tourism Management*. 23(3): 311-319.
12. Dodd, T.; Bigotte, V. 1997. Perceptual differences among visitor groups to wineries. *Journal of Travel research*. 35(3): 46-51.
13. Evans, M. R.; Carol, P.; Grant, H. 2008. Discover North Carolina wines: A wine tourism visitor profile study. John A. Walker College of Business, Appalachian State University.
14. Galletto, G.; Galletto, L. 2010. A profile of the wine tourist of the Vini del Piave Route. *Progrès Agricole et Viticole*. 127(19): 408-413.
15. Galloway, G.; Mitchell, R.; Getz, D.; Crouch, G.; Ong, B. 2008. Sensation seeking and the prediction of attitudes and behaviours of wine tourists. *Tourism Management*. 29(5): 950-966.
16. Gatti S.; Maroni, F. 2004. A profile of wine tourists in some Italian region vineyards: an application of the multiple correspondence analysis. *Vineyard Data Quantification Society (vdqs) Colloque, Oenometrics XI, Dijon, France*.
17. Geide, C.; Harmon, L.; Baker, R. 2008. Northern Virginia Wineries: understanding visitor motivations for market segmentation. In *Proceedings of the 2008 Northwestern Recreation Research Symposium*. Bolton Landing, New York. 350-356.
18. Gennari, A. J.; Winter, P.; Martin, D.; Eisechlas, P.; Ciardullo, V.; Smud, H. 2011. Analisi dell'enoturismo in Argentina, 149-210. In Boatto, V.; Gennari, A. (eds). *La roadmap del turismo enologico*. Franco Angeli, Milano, Italy.
19. Getz, D.; Brown, G. 2006. Critical success factors for wine tourism regions: a demand analysis. *Tourism Management*. 27(1): 146-158.
20. Hashimoto, A.; Telfer, D. J. 2003. Positioning an emerging wine route in the Niagara Region: Understanding the wine tourism market and its implications for marketing. *Journal of Travel and Tourism Marketing*. 14(3-4): 61-76.
21. Hojman, D. E.; Hunter-Jones, P. 2012. Wine tourism: Chilean wine regions and routes. *Journal of Business Research*. 65(1): 13-21.
22. Lankford, S.; Oksana Grybovyeh, O.; Lankford, J. K. 2006. Development of a Regional Wine Culture in Iowa. Final Report Prepared for the Leopold Center for Sustainable Agriculture. University of Northern Iowa STEP. 1-35.
23. Lopez-Guzman, T. J.; Millán, G.; Caridad y Ocerin, J. M. 2008. Análisis econométrico del enoturismo en España: un estudio de caso. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 17(2): 98-114.
24. Magalhães Serra, E.; Carvalho Vieira, M.; Spawton, T. 2010. Determinants of Portuguese wine & enotourism consumer behavior. *COGITUR: Journal of Tourism Studies*. 10(3): 9-20.
25. Marzo-Navarro, M.; Pedraja-Iglesias, M. 2010. Are there different profiles of wine tourists? An initial approach. *International Journal of Wine Business Research*. 22(4): 349-361.
26. Mauracher, C.; Procidano, I.; Sacchi, G. 2014. Customer satisfaction per l'innovazione dell'enoturismo in Veneto. Effetti delle nuove forme di integrazione turistica. *Economia Agro-Alimentare*. 16(1): 157-178.

27. Millàn, G.; Meliàn Navarro, A. 2010. Turismo enológico y desarrollo rural: una aplicación empírica. *Revista Lider*. 17: 159-175.
28. Mitchell, R.; Hall, C. M. 2001. Life style behaviours of New Zealand winery visitors: wine club activities, wine cellars and place of purchase. *International Journal of Wine Marketing*. 13(3): 82-93.
29. O' Mahony, B.; Hall, J.; Lockshin, L.; Jago, L.; Brown, G. 2008. Wine tourism and subsequent wine purchase behaviour. CRC for Sustainable Tourism. Gold Coast, Australia.
30. Quadri-Felitti, D.; Fiore, A. 2012. Experience economy constructs as a framework for understanding wine tourism. *Journal of Vacation Marketing*. 18(1): 3-15.
31. Romano, M. F.; Natilli, M. 2009. Wine tourism in Italy: New profiles, styles of consumption, ways of touring. *Tourism*. 52(4): 463-475.
32. Sparks, B. 2007. Planning a wine tourism vacation? Factors that help to predict tourist behavioral intentions. *Tourist Management*. 28(5): 1180-1192.
33. Varchiano Pol, M.; Ramon Cardona, J. 2013. Turismo y vino en la literatura académica: Breve revisión bibliográfica. *REDMARKA UIMA*. 2(6): 55-82.
34. Woods, T. A.; Nogueira, L.; Yang, S. 2013. Linking wine consumers to the consumptions of local wines and winery visit in the northern Appalachian States. *International Food and Agribusiness Review*. 16(4): 181-205.
35. Yuan, J. J.; So, S.; Chakravarty, S. 2005. To wine or not to wine: profiling a wine enthusiast for a successful list. *Journal of Nutrition in Recipe & Menu Development*. 3(3-4): 63-79.

Conocimiento científico y políticas de conservación: interrelaciones en las razas ganaderas autóctonas españolas en peligro de extinción

Scientific knowledge and conservation policies: interrelationships in the Spanish livestock autochthonous endangered breeds

José Perea ¹, Cecilio Barba ¹, Manuel Luque ², Ana González ¹, Elena Angón ¹, Antón García ¹

Originales: *Recepción:* 04/12/2016 - *Aceptación:* 14/02/2017

RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar las relaciones entre el conocimiento científico y los principales factores que determinan el grado de amenaza de las razas autóctonas españolas en peligro de extinción. Se utilizaron los datos oficiales del conjunto de razas españolas en peligro de extinción durante el período 2009-2013, y la producción científica y divulgativa de cada raza, recopilada a partir de Web of Science y Google para el período 1950-2012. Las razas fueron clasificadas según su riesgo de extinción con base en criterios demográficos durante el período 2009-2013. Los resultados han mostrado que el riesgo de extinción es elevado en más de la mitad de las razas, moderado en el 12,4% y crítico en el 36,1%. Los mayores niveles de riesgo correspondieron a razas concentradas en pequeñas áreas, con poblaciones y rebaños de menor tamaño, y reconocimiento oficial más reciente. La producción científica en el área de genética ha sido significativamente superior en las razas con mayor riesgo de extinción, mientras que los aspectos productivos y productos han sido más estudiados en las razas con menor riesgo de extinción. La divulgación de aspectos zootécnicos y sistemas de producción, producciones y productos ha sido significativamente mayor en las situaciones de menor riesgo de extinción. Por todo ello, se recomienda que las políticas de conservación concentren sus apoyos en una fase inicial relativa al estudio y caracterización racial basada en aspectos genéticos y una segunda fase centrada en el incremento del conocimiento y divulgación de las características productivas y de los sistemas de producción.

Palabras clave

análisis bibliométrico • razas locales • recursos zoogenéticos

-
- 1 Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba. Campus Rabanales. Código Postal 14071. Córdoba. España. jmperea@uco.es
 - 2 Federación Española de Asociaciones de Ganado Selecto. C/ Castelló, 45-2º Izda. Código Posta 28001. Madrid, España. feagas@feagas.es

ABSTRACT

The aim of this study was to analyse the progress and current status of endangered autochthonous Spanish breeds exploring relationships between the main factors that determine the degree of endangered and the scientific and technical production related to the breed. The status of each breed was determined from official data published by Ministry of Agriculture during 2009-2013. The scientific and disclosure production related to each breed was collected from Web of Science and Google for 1950-2012. Each breed was classified according to its risk of extinction, based on demographic criteria and the annual growth rate of the population during 2009-2013. Results showed the risk of extinction was high in approximately the half of breeds, intermediate in 12.4% and very high in 36.1%. The highest levels of extinction risk corresponded to breed with recent official recognition and spread in small areas, with reduced population and herds of small size. Scientific literature on genetics has been significantly higher in breeds at greatest risk of extinction, while productive issues and products have been significantly studied most intensively in breeds with less risk of extinction. The disclosure literature on zootechnical issues and production systems has been significantly higher in breeds at lower risk of extinction. Therefore, it is recommended conservation policies focus, in a first stage, on genetic aspects and breed features, and secondly on productive issues and production systems.

Keywords

bibliometric analysis • local breeds • animal genetic resources

INTRODUCCIÓN

Las razas ganaderas locales han experimentado en las últimas décadas una progresiva disminución del censo, lo que ha provocado un rápido descenso de variabilidad genética, extinciones y la expansión de otros genotipos (29).

De acuerdo con FAO (12), el 22% de las razas ganaderas a nivel mundial corren peligro de extinción y la situación es aún más grave en la UE.

La pérdida de diversidad racial y el riesgo de extinción se explican por tres factores clave: la industrialización del sector agroalimentario, el desarrollo tecnológico y los cruzamientos indiscriminados, especialmente en los países en vías de desarrollo (13). Todo ello ha contribuido a la sustitución de las razas locales

y de los sistemas tradicionales ligados a la tierra por modelos intensivos industriales altamente especializados y que utilizan un reducido número de genotipos.

La erosión genética limita la adaptación de la sociedad al futuro, especialmente a nuevas demandas comerciales y a cambios irreversibles en los entornos productivos, como el cambio climático (22). Otras justificaciones para el desarrollo de programas de conservación son el valor ecológico de las razas locales en los agroecosistemas singulares, su valor socioeconómico para las comunidades rurales y la protección del patrimonio histórico y cultura rural (13, 18, 29).

Hoy en día existe consenso en que el objetivo de cualquier programa de conservación debe ser minimizar la pérdida de razas; por tanto, las decisiones deben tener en cuenta el grado de amenaza, cuya estimación requiere de datos sistemáticos sobre aspectos como la situación demográfica, la tendencia de la población o la pérdida de variabilidad genética (2, 23).

La mayoría de países de Occidente disponen de programas oficiales que recopilan periódicamente información relevante para determinar el grado de amenaza. Sin embargo, poca atención se ha prestado a evaluar el nivel de éxito de los programas de conservación e identificar los factores que lo determinan. Entre estos factores se encuentran el conocimiento científico y la posterior divulgación de los aspectos de interés vinculados con la raza (23).

En la actualidad existen numerosas bases de datos que recopilan sistemáticamente información bibliométrica de todos los campos académicos, lo que permite el desarrollo de estudios orientados al output científico. A través del análisis bibliométrico se puede caracterizar la producción científica desde un nivel micro (individuo, grupo de investigación, etc.) a un nivel macro (país, área geográfica, etc.), identificar puntos críticos y establecer asociaciones; todo ello orientado a conseguir una mejor asignación de recursos y priorizar proyectos o líneas de investigación (15, 19). A pesar de la importancia del análisis bibliométrico aún no se ha desarrollado suficientemente en la conservación de recursos zoogenéticos.

España cuenta con 137 razas ganaderas autóctonas, de las cuales el 78% se encuentra en peligro de extinción (3).

Desde los años 90 se llevan desarrollando actuaciones con fines de conservación, aunque solo los datos

oficiales de 2009 en adelante están disponibles. La estructura administrativa de España se basa en 17 regiones o comunidades autónomas con competencias específicas en agricultura y ganadería, mientras que el gobierno de la nación se centra básicamente en labores de coordinación. En ese sentido, la Comisión nacional de coordinación de conservación, mejora y fomento de razas ganaderas es un órgano interadministrativo de coordinación entre los gobiernos central y regionales, siendo cada comunidad autónoma la autoridad competente en la gestión de las razas ganaderas y las políticas que le afectan. Esto conlleva la ausencia de indicadores homogéneos respecto de las políticas públicas en este ámbito (8). Todo esto hace de la realidad española un marco de trabajo muy relevante para las políticas de conservación. Por tanto, se plantea como objetivo analizar la evolución zootécnica y del conocimiento en las razas autóctonas españolas en peligro de extinción, explorando las relaciones entre los principales factores que determinan el grado de amenaza y la documentación científica y divulgativa relacionada con el factor racial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La población objeto de estudio abarca un total de 128 razas (bovinas: 31; ovinas: 33; caprinas: 15; porcinas: 9; equinas: 20; asnales: 6; aviarias: 19 -17 gallinas y 2 ocas-, y 1 camélido), lo que corresponde al conjunto de razas incluidas en la categoría de razas autóctonas españolas en peligro de extinción, contenidas en el Catálogo oficial de razas de ganado de España (8).

Las variables zootécnicas y administrativas utilizadas fueron: número de ganaderías inscritas en el libro

genealógico (NR), número total de reproductores de raza pura inscritos en el libro genealógico (NP), número de machos reproductores de raza pura inscritos en el libro genealógico (NM), número de hembras reproductoras de raza pura inscritas en el libro genealógico (NH), variación anual del número de hembras de raza pura inscritas en el registro definitivo del libro genealógico (NRD), tamaño medio del rebaño (TR), año de la aprobación oficial del libro genealógico de la raza (AOL), año de inclusión de la raza en el catálogo oficial (AOC), producción de la raza acogida a denominación de calidad (DC), distribución geográfica (DG), banco de germoplasma (BG) y año de la aprobación oficial del programa de mejora (AOM).

La información de estas variables se relevó del Sistema Nacional de Información de Razas Ganaderas (ARCA), como base de datos pública del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, que se nutre de la información aportada por las asociaciones de criadores de raza pura oficialmente reconocidas y validada por las Comunidades Autónomas y el propio Ministerio (3).

El marco normativo español (8) establece que la gestión del libro genealógico de cualquier raza está condicionada al reconocimiento oficial de una asociación de criadores; por tanto, la referencia al libro genealógico implica necesariamente la existencia de una asociación de criadores oficialmente reconocida por la autoridad competente. La información de las variables DC, AOC, AOL y AOM se complementó con la recopilación de otros datos oficiales (5, 6, 7, 17).

La variable BG se codificó según los criterios FAO en "completo", "medio" y "carente" (11), y está referida a la existencia/ausencia de material genético de una determinada raza en un banco de

germoplasma, ya sea este de tipo específico o multirracial perteneciente a alguna de las Administraciones Públicas existentes en España o bien se trate un banco de germoplasma privado bajo la gestión Asociación de Criadores de la raza. La variable DG se codificó en 3 niveles, según la distribución geográfica del 75% de la población en un radio de menos de 12,5 km, entre 12,5 y 50 km o en más de 50 km. La variable DC indica si la raza está integrada o no en figuras de calidad diferenciada como Denominación de Origen, Identificación Geográfica Protegida u otras (17).

Como indicador de heterocigosidad esperada en una población se utilizó el índice de Panmixia (IPX), que estima la diversidad genética teórica existente en una población sobre la base de su tamaño efectivo (25).

El Índice de Panmixia (P) se calculó como:

$$P=1-(1/(2Ne))$$

donde:

Ne = el tamaño efectivo de la población, a partir de:

$$Ne=4MH/(M+H)$$

donde:

M = el número de machos reproductores de raza pura

H = el número de hembras reproductoras de raza pura

La producción científica de cada raza fue recopilada a partir de Web of Science, Thomson Reuters (ISI), para el período 1950-2012 (15).

Se realizaron búsquedas temáticas con los nombres de cada raza y con las palabras clave: Spain, local breed, native breed, autochthonous breed, Spanish breed, endangered breed, España, razas locales, razas autóctonas, razas en peligro de

extinción, razas españolas. Solo los artículos y las revisiones fueron considerados.

Los documentos divulgativos de cada raza fueron recopilados a partir de Google, realizando búsquedas con el nombre de cada raza, y solicitándolos directamente a las Asociaciones de criadores de raza pura a través de la Federación Española de Criadores de Ganado Selecto (FEAGAS).

Tanto los documentos indexados (IT) como los documentos divulgativos (DT) fueron posteriormente clasificados según su área de conocimiento en genética (IGE, DGE), aspectos zootécnicos y sistemas de producción (IZP, DZP), producción y productos (IPP, DPP), y aspectos reproductivos (IRP, DRP). Cada documento puede corresponder a diferentes áreas de conocimiento.

Las razas fueron clasificadas según su riesgo de extinción con base en los criterios demográficos utilizados por FAO (10) y a la codificación propuesta por Alderson (2003),

que tiene en cuenta el promedio anual de hembras de raza pura inscritas en el libro genealógico que pasan a reproductoras.

La codificación de las variables se muestra en la tabla 1.

La puntuación global de cada raza puede oscilar entre un mínimo de 0 y un máximo de 9. Las razas con una puntuación global mayor a 5 fueron clasificadas como "en riesgo crítico", las razas con una puntuación entre 1 y 5 fueron clasificadas como "en riesgo elevado", y las razas con una puntuación global de 0 fueron clasificadas como "en riesgo moderado".

La evolución de la población de cada raza fue analizada mediante la tasa de crecimiento anual (TCA), estimada a partir del número total de reproductores de raza pura durante el período 2009-2013.

Se utilizó 2009 como primer año de estudio debido a que no existen datos oficiales públicos con anterioridad.

Tabla 1. Codificación de las variables utilizadas para estimar el riesgo de extinción.

Table 1. Codification of variables used to estimate the risk of extinction.

Variable	Codificación
NH en 2013	>1000=0; 1000-100=1; <100=2
NM en 2013	>20=0; 20-5=1; <5=2
NP en 2013	>1000=0; 1000-100=1; <100=2
Promedio anual de NRD en 2011-2013	Bovino: >700=0; 700-225=1; 225-75=2; <75=3 Équidos: >450=0; 450-150=1; 150-45=2; 45=3 Ovino y caprino: >900=0; 900-300=1; 300-90=2; <90=3 Porcino: >1000=0; 1000-345=1; 345-105=2; <105=3 Aves: >2000=0; 2000-600=1; 600-200=2; <200=3

NH: número de hembras reproductoras de raza pura inscritas en el libro genealógico; NM: número de machos reproductores de raza pura inscritos en el libro genealógico; NP: número total de reproductores de raza pura inscritos en el libro genealógico; NRD: variación anual del número de hembras de raza pura inscritas en el registro definitivo del libro genealógico.

NH: number of purebred females registered in the herd book; NM: number of purebred males registered in the herd book; NP: total number of purebred animals registered in the herd book; NRD: annual variation of the number of purebred females registered in the definitive register of herd book.

La tasa de crecimiento anual (r) se estimó como:

$$r = \text{anti-log}((\log N_2 - \log N_1)/t)$$

donde:

N_1 y N_2 = el primer y el último censo de cada raza

t = el intervalo temporal en años.

A partir de la tasa de crecimiento anual se establecen tres categorías: "tendencia decreciente", si $r < 0,99$; "tendencia estable", si $0,99 < r < 1,01$; "tendencia creciente" si $r > 1,01$ (13).

De las 128 razas que conforman la población objeto de estudio, solo se pudieron obtener datos completos de 97 (77,3%). Las restantes 31 razas presentaron datos faltantes en algunas variables, por lo que no formaron parte del estudio.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el programa estadístico SPSS versión 14 (24). Como variables dependientes se utilizaron el riesgo de extinción y la tasa de crecimiento anual. Dado que algunas variables no mostraron buen ajuste a la distribución normal, se utilizaron técnicas estadísticas no paramétricas.

La asociación entre variables métricas se estudió mediante correlaciones de Spearman. Se utilizaron los test Kruskal-Wallis y W de Mann-Whitney en las variables cuantitativas, y tablas de contingencia y la prueba de X^2 en las variables cualitativas para comparar grupos de riesgo y de tendencia de población.

RESULTADOS

Las razas autóctonas españolas en peligro de extinción tuvieron una población media de 3850 reproductores en el año 2013, de los que 3669 correspondieron a

hembras y 181 a machos, y se distribuyeron en 128 rebaños de media, lo que supone un tamaño promedio de 30 reproductores por rebaño.

A medida que crece el número de rebaños decrece su tamaño medio ($r = -0,52$) y la población tiende a un mayor número de machos ($r = 0,35$).

Las razas con reconocimiento oficial más antiguo tendieron a presentar mayores poblaciones ($r = 0,30$). Asimismo, los rebaños de mayor tamaño corresponden a poblaciones mayores ($r = 0,70$).

El índice de Panmixia medio ascendió a 99,55% y la tendencia de la población durante el período 2009-2013 fue creciente. Predominó la ausencia de sistemas comerciales basados en figuras de calidad diferenciada (66%) y la ausencia de banco de germoplasma (55,7%).

El 55,4% de las razas presentó una dispersión geográfica con más del 75% de la población en un radio superior a los 50 km. El índice de Panmixia mostró una relación positiva con el tamaño del rebaño ($r = 0,41$) y el número de rebaños ($r = 0,34$).

Un total de 1436 publicaciones científicas fueron encontradas para el período estudiado. La raza con mayor número de publicaciones fue la caprina Payoya con 54 manuscritos y la de menor producción científica la ovina Chamarita con 0.

La mayor parte de la producción científica correspondió al área de genética (61,0%), seguida de los aspectos zootécnicos y sistemas de producción (16,9%), producción y productos (13,6%) y aspectos reproductivos (7,6%). Las razas con reconocimiento oficial más antiguo tendieron a una mayor producción científica ($r = 0,22$).

El área de genética tiende a ganar importancia en las poblaciones más pequeñas ($r = -0,21$) y con rebaños de menor tamaño ($r = -0,29$).

Los documentos divulgativos encontrados fueron 780, lo que supone un ratio investigación/divulgación de 1,84. La divulgación se ha concentrado en el área de genética (55,6%), seguida de las producciones y productos (18,1%), aspectos zootécnicos y sistemas de producción (16,7%) y aspectos reproductivos (9,7%). Las razas con mayor producción científica mostraron también mayor divulgación ($r=0,53$). Las poblaciones de mayor tamaño han tendido a una mayor divulgación de sus producciones y productos ($r=0,29$).

En la tabla 2 (pág. 178-179), se muestra la composición de los grupos raciales según su riesgo de extinción. El 12,4% de las razas, mayoritariamente ovinas, fueron clasificadas en situación de riesgo moderado. El grupo mayoritario fue el de riesgo elevado, agrupando al 51,5% de las razas. En situación crítica fueron clasificadas el 36,1% de las razas.

La asociación entre la especie y el nivel de riesgo fue significativa ($p=0,002$), predominando el ovino y el caprino en los menores niveles de riesgo y las razas bovinas, asnales y aviáreas en los mayores niveles.

Las razas en situación crítica han comenzado a gestionar su libro genealógico más tarde que las razas en situaciones de menor riesgo ($p=0,044$). El número de rebaños ha sido similar entre grupos de riesgo, no así su tamaño medio, que se incrementa a medida que el nivel de riesgo disminuye ($p<0,000$). A niveles de riesgo inferiores le corresponden poblaciones reproductoras de mayor tamaño ($p<0,000$).

El índice de Panmixia fue significativamente menor en las razas clasificadas como en situación crítica frente a las razas en riesgo moderado

y elevado, que mostraron valores homogéneos y superiores ($p=0,004$). Sin embargo, la tasa de crecimiento anual ha sido la misma en los tres grupos de riesgo.

Las publicaciones científicas en las áreas de genética y producciones y productos se diferenciaron significativamente según grupos de riesgo ($p<0,05$), mientras que las demás variables relativas al conocimiento científico mostraron un comportamiento homogéneo.

Las razas en situación crítica han sido objeto de un mayor número de publicaciones sobre genética que las razas en otras situaciones. Sin embargo, en el área de producciones y productos son las razas en situación de riesgo moderado las que mayor atención han recibido, obteniendo los demás grupos una atención significativamente menor.

Respecto de la divulgación, ha sido significativamente diferente en las áreas de producción y sistemas y producciones y productos ($p<0,05$). En ambas áreas la divulgación ha sido significativamente mayor en las situaciones de riesgo moderado que en las razas en situación crítica.

En la tabla 3 (pág. 180-181), se muestra la composición de los grupos raciales según la tendencia de la población.

El 28,9% de las razas mostraron una tasa de crecimiento anual decreciente, el 10,3% estable y el 60,8% mostró una tendencia creciente.

La tendencia de la población se asoció significativamente a la antigüedad del libro genealógico ($p=0,007$) y a la distribución geográfica de la población ($p=0,018$).

Las razas que tienden a decrecer comenzaron la gestión del libro genealógico más tarde y se concentran en pequeñas áreas.

DISCUSIÓN

El objetivo principal de los programas de conservación es minimizar la pérdida de razas por lo que sus decisiones críticas deben basarse en el grado de amenaza (9). Aunque a nivel práctico es necesaria una visión más amplia, dado que todavía no hay una definición clara, estandarizada y fácilmente medible de los factores que afectan al riesgo de extinción (2). Esto explica que los procedimientos metodológicos adoptados por instituciones y organizaciones internacionales para estimar el grado de amenaza empleen diferentes indicadores, principios y modos de

agregación, por lo que no arrojan resultados uniformes y muchas veces crean confusión y dificultad interpretativa.

En consecuencia, las decisiones de los programas de conservación deberían estar sujetas a valoraciones conjuntas, en cierta medida subjetivas, donde las clasificaciones formales de riesgo se complementan con toda la información adicional relevante disponible.

El modo en que se ha estimado el riesgo de extinción en este trabajo podría constituir un indicador de amenaza robusto que puede ser útil para orientar las políticas de conservación en el contexto español.

Tabla 2. Características según el grupo de riesgo de extinción (media + desviación típica en las variables métricas, porcentaje en las variables categóricas).

Table 2. Characteristics according to the extinction risk group (mean \pm standard deviation for metric variables, percentage for categorical variables).

Variable	Moderado	Elevado	Crítico	Valor crítico
Especie (%)				0,002
Bovina	16,7	23,1	42,9	
Ovina	75,0	34,6	8,6	
Caprina	8,3	13,5	5,7	
Porcina	0,0	7,7	8,6	
Equina	0,0	17,3	5,7	
Asnal	0,0	0,0	11,4	
Aves	0,0	3,8	17,1	
DG (%)				0,442
75% < 12,5 km	0,00	8,0	2,9	
75% 12,5 a 50 km	58,3	46,0	37,1	
75% > 50 km	41,7	46,0	60,0	
DC (%)				0,231
Si	25,0	42,0	25,7	
No	75,0	58,0	74,3	
BG (%)				0,998
Carente	58,3	56,0	54,7	
Medio	33,3	34,0	34,3	
Completo	8,3	10,0	11,0	

DG: distribución geográfica; DC: producción acogida a denominación de calidad; BG: banco de germoplasma.

DG: geographical distribution; DC: production under denomination of quality; BG: germplasm bank.

Tabla 2 (cont.). Características según el grupo de riesgo de extinción (media + desviación típica en las variables métricas, porcentaje en las variables categóricas).

Table 2 (cont.). Characteristics according to the extinction risk group (mean ± standard deviation for metric variables, percentage for categorical variables).

Variable	Moderado	Elevado	Crítico	Valor crítico
AOC	23,5 ± 9,3	20,8 ± 10,7	17,3 ± 10,7	0,155
AOL	13,5 ± 7,0 ^b	14,4 ± 9,1 ^b	9,8 ± 7,3 ^a	0,044
AOM	1,6 ± 0,7	1,7 ± 3,1	0,9 ± 0,8	0,333
NR	65,5 ± 116,3	183,2 ± 451,1	71,1 ± 111,8	0,252
TR	151,6 ± 231,3 ^c	25,7 ± 123,5 ^b	7,6 ± 23,1 ^a	0,000
NH	9644 ± 9503 ^c	4465 ± 4861 ^b	482 ± 547 ^a	0,000
NM	286 ± 271 ^b	243 ± 209 ^b	57 ± 57 ^a	0,000
NP	9931 ± 9766 ^c	4708 ± 4994 ^b	540 ± 547 ^a	0,000
NRD	1311 ± 492 ^c	202 ± 236 ^b	34 ± 39 ^a	0,000
IPX	99,92 ± 0,09 ^b	99,87 ± 0,12 ^b	98,95 ± 2,16 ^a	0,004
TCA	1,037 ± 0,054	1,046 ± 0,104	1,025 ± 0,137	0,693
IGE	5,4 ± 5,9 ^a	5,8 ± 4,4 ^a	9,8 ± 8,1 ^b	0,045
IZP	4,5 ± 7,7	1,9 ± 2,4	1,2 ± 1,7	0,361
IRP	0,2 ± 0,6	1,1 ± 4,1	1,0 ± 1,8	0,151
IPP	5,2 ± 7,6 ^b	1,3 ± 1,9 ^a	0,9 ± 1,4 ^a	0,019
IT	15,2 ± 18,7	10,1 ± 8,4	13,0 ± 11,6	0,652
DGE	4,0 ± 2,4	3,4 ± 3,0	4,6 ± 5,6	0,613
DZP	3,0 ± 4,0 ^b	1,3 ± 3,2 ^{ab}	0,5 ± 0,8 ^a	0,034
DRP	0,4 ± 0,9	0,7 ± 2,9	0,8 ± 3,9	0,819
DPP	3,2 ± 4,6 ^b	1,3 ± 3,2 ^a	0,6 ± 1,3 ^a	0,023
DT	10,7 ± 9,0	6,8 ± 10,3	6,6 ± 7,1	0,121

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

AOC: año de inclusión en el catálogo oficial; AOL: año de la aprobación oficial del libro genealógico; AOM: año de la aprobación oficial del programa de mejora; NR: número de ganaderías inscritas en el libro genealógico; TR: tamaño medio del rebaño; NH: número de hembras reproductoras de raza pura inscritas en el libro genealógico; NM: número de machos reproductores de raza pura inscritos en el libro genealógico; NP: número total de reproductores de raza pura inscritos en el libro genealógico; NRD: variación anual del número de hembras de raza pura inscritas en el registro definitivo del libro genealógico; IPX: índice de Panmixia; TCA: tasa anual de crecimiento; IGE: producción científica en el área de genética; IZP: producción científica en aspectos zootécnicos y sistemas de producción; IRP: producción científica en aspectos reproductivos; IPP: producción científica en producción y productos; IT: documentos indexados; DGE: documentos divulgativos en el área de genética; DZP: documentos divulgativos en aspectos zootécnicos y sistemas de producción; DRP: documentos divulgativos en aspectos reproductivos; DPP: documentos divulgativos en producción y productos; DT: documentos divulgativos.

Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

AOC: year of inclusion in the official list; AOL: year of official approval of the herd book; AOM: year of official approval of the conservation program; NR: number of herds registered in the herd book; TR: mean herd size; NH: number of purebred females registered in the herd book; NM: number of purebred males registered in the herd book; NP: total number of purebred animals registered in the herd book; NRD: annual variation in the number of purebred females registered in the definitive register of herd book; IPX: Panmixia index; TCA: Annual growth rate; IGE: scientific production in the area of genetics; IZP: scientific production in zootechnical aspects and production systems; IRP: scientific production in reproductive aspects; IPP: scientific production in production and products; IT: total indexed documents; DGE: disclosure documents in the area of genetics; DZP: disclosure documents in zootechnical aspects and production systems; DRP: disclosure documents in reproductive aspects; DPP: disclosure documents in production and products; DT: total disclosure documents.

El nivel de riesgo obtenido no tiene en cuenta factores genéticos, cuya correcta estimación depende de la existencia de bases de datos que solo están disponibles hoy para un pequeño y selecto número de razas (14). En el futuro es muy probable que se pueda incorporar el componente genético, aunque la información oficial disponible en la actualidad no lo permite.

Las prioridades en conservación cambian con las condiciones de la población, desde el objetivo básico de evitar la extinción, a otros posteriores encaminados a asegurar la autosuficiencia (13).

La consecución de objetivos será más eficiente si se basa en actuaciones focalizadas

sobre aspectos clave identificados específicamente en cada situación. En este trabajo se han identificado algunos de estos aspectos clave para el contexto español.

De acuerdo con Ruane (2000) el tamaño y la tendencia de la población son los dos factores más importantes para priorizar actuaciones en conservación; y los resultados han mostrado que en el contexto español ambos factores son independientes. Así, aunque las razas con poblaciones mayores se encuentran en una situación más ventajosa, es necesario monitorear la tendencia de la población para detectar precozmente el declive.

Tabla 3. Características según la tendencia de la población (media + desviación típica en las variables métricas, porcentaje en las variables categóricas).

Table 3. Characteristics according to population trend (mean ± standard deviation for metric variables, percentage for categorical variables).

Variable	Decreciente	Estable	Creciente	Valor crítico
Especie (%)				0,081
Bovina	30,0	3,3	66,7	
Ovina	19,3	12,9	67,8	
Caprina	30,8	23,1	46,1	
Porcina	37,5	20,2	42,3	
Equina	16,4	20,0	63,6	
Asnal	0,0	0,0	100,0	
Aves	70,0	0,00	30,0	
DG (%)				0,018
75% < 12,5 km	60,0	20,0	20,0	
75% 12,5 a 50 km	30,2	18,6	51,2	
75% > 50 km	24,5	2,0	73,5	
DC (%)				0,189
No	23,4	9,4	67,2	
Si	39,4	12,1	48,5	
BG (%)				0,142
Carente	37,0	9,3	53,7	
Medio	21,2	15,1	63,6	
Completo	10,0	0,0	90,0	

DG: distribución geográfica; DC: producción de la raza acogida a denominación de calidad; BG: banco de germoplasma.

DG: geographical distribution; DC: production under denomination of quality; BG: germplasm bank.

Tabla 3 (cont.). Características según la tendencia de la población (media + desviación típica en las variables métricas, porcentaje en las variables categóricas).

Table 3 (cont.). Characteristics according to population trend (mean ± standard deviation for metric variables, percentage for categorical variables).

Variable	Decreciente	Estable	Creciente	Valor crítico
AOC	17,6 ± 10,5	24,2 ± 9,4	19,9 ± 10,6	0,197
AOL	9,6 ± 6,4 ^a	12,4 ± 6,3 ^b	13,8 ± 9,4 ^b	0,007
AOM	1,7 ± 0,8	1,6 ± 1,0	1,5 ± 2,8	0,723
NR	112,8 ± 230,4	68,2 ± 86,8	111,5 ± 279,4	0,862
TR	27,5 ± 341,3	66,9 ± 342,1	28,0 ± 543,1	0,211
NH	2885 ± 3514	4352 ± 3139	2978 ± 5140	0,623
NM	217 ± 282	212 ± 112	146 ± 168	0,225
NP	3102 ± 3718	4564 ± 3217	3124 ± 5246	0,624
IPX	99,26 ± 2,25	99,89 ± 0,10	99,63 ± 0,46	0,256
IGE	8,2 ± 8,4	5,0 ± 2,6	7,2 ± 7,2	0,764
Izp	2,3 ± 5,1	1,7 ± 1,7	1,8 ± 3,1	0,742
IRP	1,9 ± 5,3	0,7 ± 1,1	0,5 ± 1,0	0,300
IPP	2,2 ± 4,2	2,1 ± 3,1	1,3 ± 3,1	0,689
IT	14,6 ± 14,3	9,5 ± 5,2	10,8 ± 9,8	0,627
DGE	4,9 ± 5,4	3,8 ± 3,2	3,7 ± 3,7	0,926
DZP	1,6 ± 3,8	1,8 ± 3,4	0,9 ± 1,9	0,737
DRP	1,5 ± 5,4	0,6 ± 1,6	0,3 ± 0,9	0,843
DPP	1,5 ± 3,0	2,6 ± 5,2	0,9 ± 2,4	0,341
DT	9,5 ± 12,6	8,9 ± 10,5	6,0 ± 5,9	0,584

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

AOC: año de inclusión de la raza en el catálogo oficial; AOL: año de la aprobación oficial del libro genealógico de la raza; AOM: año de la aprobación oficial del programa de mejora; NR: número de ganaderías inscritas en el libro genealógico; TR: tamaño medio del rebaño; NH: número de hembras reproductoras de raza pura inscritas en el libro genealógico; NM: número de machos reproductores de raza pura inscritos en el libro genealógico; NP: número total de reproductores de raza pura inscritos en el libro genealógico; IPX: índice de Panmixia; IGE: producción científica en el área de genética; IZP: producción científica en aspectos zootécnicos y sistemas de producción; IRP: producción científica en aspectos reproductivos; IPP: producción científica en producción y productos; IT: documentos indexados; DGE: producción científica en el área de genética; DZP: producción científica en aspectos zootécnicos y sistemas de producción; DRP: producción científica en aspectos reproductivos; DPP: producción científica en producción y productos; DT: documentos divulgativos.

Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$)

AOC: year of inclusion in the official list; AOL: year of official approval of the herd book; AOM: year of official approval of the conservation program; NR: number of herds registered in the herd book; TR: mean herd size; NH: number of purebred females registered in the herd book; NM: number of purebred males registered in the herd book; NP: total number of purebred animals registered in the herd book; NRD: annual variation in the number of purebred females registered in the definitive register of herd book; IPX: Panmixia index; IGE: scientific production in the area of genetics; IZP: scientific production in zootechnical aspects and production systems; IRP: scientific production in reproductive aspects; IPP: scientific production in production and products; IT: total indexed documents; DGE: disclosure documents in the area of genetics; DZP: disclosure documents in zootechnical aspects and production systems; DRP: disclosure documents in reproductive aspects; DPP: disclosure documents in production and products; DT: total disclosure document

De acuerdo con Zander *et al.* (2013), asignar recursos para recuperar razas con poblaciones muy pequeñas es más ineficiente que actuar sobre poblaciones de cierto tamaño aunque en declive.

Las estimaciones precisas sobre la situación y evolución de cualquier raza dependen del registro periódico de datos demográficos y genéticos. En este sentido, las asociaciones de criadores y el entorno administrativo de las razas juegan un papel importante. Esto es lo que sugiere que las razas con poblaciones en declive y situaciones más críticas hayan comenzado a gestionar más recientemente el libro genealógico.

Los resultados han mostrado además una relación entre declive poblacional y concentración geográfica, lo que incrementa la vulnerabilidad de las razas que se concentran en pequeños territorios (4).

La priorización de estas razas es todavía más oportuna si se tiene en cuenta el valor adaptativo a las condiciones medioambientales de sus entornos (25).

Las razas aviares, bovinas y asnales se encuentran en una situación demográfica de mayor amenaza en comparación al resto de las especies. Las razas caprinas y ovinas, típicamente mediterráneas, han logrado mantener un mayor nivel de competitividad en sus áreas tradicionales de difusión; mientras que las razas asnales han perdido utilidad económica debido al cambio tecnológico experimentado en España en los últimos 50 años, consecuencia de la mecanización de la agricultura (16).

La situación de amenaza corresponde a todas las razas asnales, a diferencia de la especie equina, que a pesar de sufrir las mismas consecuencias derivadas de la tecnificación y modernización de las explotaciones agrarias, ha logrado desarrollar otras alternativas funcionales

como son su orientación al deporte y uso de silla, así como la producción cárnica en zonas quebradas de monte donde resulta competitiva. La situación del bovino y de las aves se vincula con la pérdida de competitividad de los sistemas tradicionales españoles (21). La expansión de genotipos bovinos cárnicos especializados y la avicultura industrial han relegado a la mayoría de estas razas a pequeñas granjas de ocio orientadas al autoconsumo.

En general, una raza no estaría en peligro de extinción si fuese económicamente competitiva en los sistemas actuales de producción y en las condiciones de mercado (27, 28).

Las razas en situación de amenaza son normalmente percibidas como de escasa rentabilidad, sin embargo, muy poca documentación existe sobre estos aspectos. Adicionalmente, los resultados han mostrado que las razas mejor conocidas y divulgadas en sus aspectos productivos y en sus producciones y productos son las que menor riesgo de extinción presentan. El mercado cambia con rapidez y probablemente, las características consideradas hoy de valor pueden no serlo en un futuro cercano. Del mismo modo, aspectos como la resistencia a enfermedades, características reproductivas o adaptación a medios difíciles serán siempre de valor y deberían ser objetivo de mayores esfuerzos científicos y divulgativos. Sin embargo, son los aspectos genéticos los que han recibido mayor atención en las razas más amenazadas, especialmente los esfuerzos se han focalizado en identificar genes que afectan a caracteres de interés.

Documentary y divulgar las características productivas y de las producciones de las razas, incluyendo aspectos ambientales y culturales, también tiene importancia para optimizar los programas de conservación

in situ. Por ejemplo, podrían ser útiles para modular las ayudas económicas que compensan la pérdida de rentabilidad a los ganaderos que continúan utilizando razas en situaciones de riesgo.

La conservación *in situ* consume gran cantidad de recursos, aunque constituye la base para identificar las situaciones deseables en el futuro, de especial interés para adaptar los sistemas de producción a cambios irreversibles del medio ambiente, como los que muy probablemente ocurran con el cambio climático (9, 18, 20).

CONCLUSIONES

Los mayores niveles de riesgo corresponden a razas concentradas en pequeñas áreas, con poblaciones y rebaños de menor tamaño, reconocimiento oficial más reciente y una producción científica

focalizada en el área de genética. Mientras que en los menores niveles de riesgo se han investigado más intensamente los productos y las características productivas de las razas; y se ha hecho una mayor divulgación de estos aspectos junto a los de interés zootécnico y sistemas de producción. Por todo ello, se recomienda que las políticas de conservación y uso sostenible de recursos genéticos animales concentren sus apoyos en una fase inicial relativa al estudio y caracterización racial basada en aspectos genéticos y una segunda fase centrada en el incremento del conocimiento y divulgación de las características productivas y de los sistemas de producción, incluyendo aspectos ambientales y culturales, que permitan conocer el nivel de productividad y competitividad de estas poblaciones en sus sistemas tradicionales de explotación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alderson, L. 2003. Criteria for the recognition and prioritisation of breeds of special genetic importance. *Animal Genetics Resources Information*. 33: 1-9.
2. Alderson, L. 2009. Breeds at risk: Definition and measurement of the factors which determine endangerment. *Livestock Science*. 123: 23-27.
3. ARCA. 2014. Sistema Nacional de Información de Razas Ganaderas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Disponible en: (<http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/>) 19 de enero de 2017.
4. Bertaglia, M.; Joost, S.; Roosen, J.; Econogene Consortium. 2007. Identifying European marginal areas in the context of local sheep and goat breeds conservation: A geographic information system approach. *Agricultural Systems*. 94: 657-670.
5. BOE. 1979. Orden de 30 de julio de 1979 por la que se establece el catálogo nacional de razas de ganado de España. *Boletín Oficial del Estado* de 9/08/1979, núm. 190, 18725-18726 p.
6. BOE. 1980. Orden de 31 de enero de 1980 por la que se catalogan como razas de fomento y de especial protección a las caballares y asnales autóctonas y se extiende a las mismas la aplicación de estímulos para el fomento de las razas ganaderas españolas. *Boletín Oficial del Estado* de 19/03/1980. 68: 6183 p.
7. BOE. 1997. Real Decreto 1682/1997, de 7 de noviembre, por el que se actualiza el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España. *Boletín Oficial del Estado* de 21/11/1997. 279: 34205-34207 p.
8. BOE. 2009. *Boletín Oficial del Estado*, nº Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el programa nacional de conservación, mejora y fomento de razas ganaderas. *Boletín Oficial del Estado* de 27/01/2009. 23: 9211-9242 p.

9. Fadlaoui, A.; Roosen, J.; Baret, P. V. 2006. Setting priorities in farm animal conservation choices-expert opinion and revealed policy preferences. *European Review of Agricultural Economics*. 33: 173-192.
10. FAO. 2010. La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura, editado por Barbara Rischkowsky y Dafydd Pilling. Roma. Disponible en: (<http://www.fao.org/3/a-a1250s.pdf>) 19 de enero de 2017.
11. FAO. 2011. Draft guidelines for the cryoconservation of animal genetic resources, Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Thirteenth Regular Session. Roma, Italia. 18-22 Julio.
12. FAO. 2014. Domestic Animal Diversity Information System (DAD-IS). United Nations Food and Agriculture Organization.
13. Gandini, G. C.; Ollivier, L.; Danell, B.; Distl, B.; Georgoudis, A.; Groeneveld, E.; Martyniuk, E.; van Arendonk, J. A. M.; Woolliams, J. A. 2004. Criteria to assess the degree of endangerment of livestock breeds in Europe. *Livestock Production Science*. 91: 173-182.
14. Groeneveld, L. F.; Lenstra, J. A.; Eding, H.; Toro, M. A.; Scherf, B.; Pilling, D.; Negrini, R.; Finlay, E. K.; Jianlin, H.; Groeneveld, E.; Weigend, S. 2010. GLOBALDIV Consortium: genetic diversity in farm animals-a review. *Animal Genetics*. 41: 6-31.
15. Jaric, I.; Gessner, J. 2012. Analysis of publications on sturgeon research between 1996 and 2010. *Scientometrics*. 90: 715-735.
16. Kalantzopoulos, G.; Dubeuf, J.-P.; Vallerand, F.; Pirisi, A.; Casalta, E.; Lauret, A.; Trujillo, T. 2004. Characteristics of sheep and goat milks: quality and hygienic factors for the sheep and goat dairy sectors. *International Dairy Federation Bulletin*. 390: 17-28.
17. MAGRAMA. 2014. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Disponible en: (<http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/>) 19 de enero de 2017.
18. Mara, L.; Casu, S.; Carta, A.; Dattena, M. 2013. Cryobanking of farm animal gametes and embryos as a means of conserving livestock genetics. *Animal Reproduction Science*. 138: 25-38.
19. Neff, M. W.; Corley, E. A. 2009. 35 years and 160,000 articles: A bibliometric exploration of the evolution ecology. *Scientometrics*. 80: 657-682.
20. Otta, S.; Quiroz, J.; Juaneda, E.; Salva, J.; Viani, M.; Filippini, M. F. 2016. Evaluación de sustentabilidad de un modelo extensivo de cría bovina en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(1): 179-195.
21. Perea, J.; Blanco-Penedo, I.; Barba, C.; Angón, E.; García, A. 2014. Organic beef farming in Spain. Typology according to livestock management and economic variables. *Revista Científica*. 24: 347-354.
22. Rege, J. E. O.; Gibson, J. P. 2003. Animal genetic resources and economic development: issues in relation to economic valuation. *Ecological Economics*. 45: 319-330.
23. Ruane, J. 2000. A framework for prioritizing domestic animal breeds for conservation purposes at the national level: a Norwegian case study. *Conservation Biology*. 14: 1385-1393.
24. SPSS. 2005. Guía Breve de SPSS 14.0. SPSS inc. Chicago.
25. Warren, J.T. 1998. Conservation biology and agroecology in Europe. *Conservation Biology*. 12: 499-500.
26. Wright, S. 1931. Evolution in Mendelian populations. *Genetics*. 16: 97-159.
27. Zander, K. K. 2013. Understanding public support for indigenous natural resource management in northern Australia. *Ecology and Society*. 18: 11-25.
28. Zander, K. K.; Drucker, A. G. 2008. Conserving what's important: using choice model scenarios to value local cattle breeds in East Africa. *Ecological Economics*. 68: 34-45.
29. Zander, K. K.; Signorello, G.; De Salvo, M.; Gandini, G.; Drucker, A. G. 2013. Assessing the total economic value of threatened livestock breeds in Italy: Implications for conservation policy. *Ecological Economics*. 93: 219-229.

The falling production of mexican cacao analyzed through the lens of Mincerian earnings function in the context of social capital of smallholders

La caída de la producción del cacao mexicano analizada a través de la función Minceriana en el contexto del capital social de pequeños productores

Tomáš Hes¹, Samuel Mintah¹, Haiyan Sulaiman¹, José Samuel Banda Arrieta², José Ramírez Esquivel², Tomás Martínez Saldaña³, Juan Manuel Aguirre López²

Originales: *Recepción*: 28/07/2016 - *Aceptación*: 14/02/2017

ABSTRACT

The cacao belongs to most important agricultural crops worldwide, in recent decades facing increasing demand as well as falling production capacity. The dramatically fall of production of cacao in Mexican agriculture, where it was first domesticated, is becoming a serious concern for diversity of local production, as local producers are substituting cacao plantations with more rentable crops thus giving away a rich genetic as well as agricultural legacy that could under adequate conditions provide a source of income for large region while maintaining the natural diversity. The paper tries to find the answer in studying the social capital of cacao producers of Tabasco region, coming to the conclusion that it is collective action and social capital led production set of practices that is crucial for the re-installment and prosperity of the plantations, rather than a single motive such as the recent invasion of *Moniliophthora roreri* fungus.

Keywords

social capital • cacao • Mexico • *Moniliophthora roreri* • Mincerian function

-
- 1 Czech University of Life Sciences Prague. Faculty of Tropical AgriSciences. Kamýcká 129, 165 21. Prague 6. Czech Republic. 2586rm@gmail.com
 - 2 Chapingo Autonomous University. Economics-Management Science Division. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo. Texcoco. Estado de México. México. C. P. 56230.
 - 3 Colegio de Posgraduados. Estudios del Desarrollo Rural. Carretera México-Texcoco Km. 36,5. Montecillo. Texcoco 56230. Estado de México. México.

RESUMEN

El cacao pertenece a los cultivos agrícolas más importantes en todo el mundo. En las últimas décadas se enfrenta con una creciente demanda, así como con la caída de la capacidad de producción. La caída de la producción de cacao en la agricultura mexicana, donde fue el cacao domesticado por primera vez, se está convirtiendo en una seria preocupación por la diversidad de la producción local, ya que los productores locales están sustituyendo las plantaciones con cultivos más rentables, perdiendo la riqueza genética y cultural. El artículo trata de encontrar la respuesta en el análisis del capital social de los productores de cacao de la región de Tabasco, llegando a la conclusión de que la producción de cacao es una acción colectiva y relacionada con el tejido sociocultural y por lo tanto el capital social sirve como una base de conjunto de prácticas cruciales para la prosperidad de las plantaciones y lucha exitosa contra *Moniliophthora roreri*, uno de los motivos de caída de la producción.

Palabras claves

capital social • cacao • México • *Moniliophthora roreri* • función Minceriana

INTRODUCTION

The cacao (*Theobroma cacao* L.) belongs to the family Sterculiaceae, which is naturally distributed in humid tropics of the western hemisphere in higher altitudes between 18°00'N (Tabasco and Chiapas, Southern Mexico) and 15°00'S (Northern Brasil, Bolivia). Cacao was domesticated in Olmecan Central America over 5,000 years ago, and its production has spread globally to tropical areas of west Africa and south-east Asia, and belongs today to the most important crops. In these days cacao is being cultivated in 58 countries with contribution about US\$ 4.5 billion per year to the world economy. In some countries, the importance of cacao is paramount to local economy.

In Ghana for example 75% of households are involved in cacao production, while Ivory Coast supplies about 30% of the world's total cacao (48).

Cacao is considered to be the second most essential cash crop in tropics

regional (43), while almost three quarters of the world's cacao is produced by small landholders, and therefore being intrinsically involved in socio-economic processes of base populations (10, 39).

Besides social benefits for smallholders, cacao increases the biodiversity due to cultivation of cacao trees under shade conditions (13), even though cacao monocultures provide more profits for households in comparative to agro-forestry systems (6).

Three morpho-geographic groups of cacao are known: *Theobroma Cacao Cacao* (Criollo), which is the gourmet type of cacao, *Theobroma Cacao Sphaerocarpum* (Guayaquil) and *Theobroma Cacao Trinitario*, which is the result of cultivation that took place in Trinidad y Tobago in the 1960s (27).

Three types of cacao are exported: pods, wet beans and dry beans, while farmers used to sell pods which is easier for them, take the advantage of selling

dry beans that could be stored and transported for long distances (16). Despite being the first domesticator and a major cacao producer in the past, Mexico ranked in 2014/2015 only 8th post in world cacao production producing over 80,000 metric tons of cacao beans (12, 41), thus belonging along with coffee, rice, corn, wheat, soybeans, cotton to most important export commodities of the country.

Even though the surface of cacao plantations reaches only 10% of the surface of coffee plantations in Mexico, the yearly production of value of cacao comes near to 25% when compared to coffee (33) denoting importance of this crop for Mexican countryside further enhanced by the fact that the presence of cacao in federal states of Chiapas, Oaxaca, Tabasco and Guerrero also corresponds to occurrence of high levels of rural poverty, which in the abovementioned states reaches 40%.

The production of cacao, concentrated in small parcels of 1.8 hectares per producer in average (45) is dramatically falling in the past decades in Mexico. While the country produced in 1993, 51% of the international production, the current production as of 2015, only supplies 1.6%, provided by 37,000 smallholders (12).

One of the major motives for dramatic decrease of cacao production is the impact of *Moniliophthora roreri*, a pathogenic fungus invading active cacao pods that appeared for the first time in 1956 in Panama and now is being found in 11 countries of tropical America, representing a serious threat for cultivation of cacao on global level (34).

In Mexico, 90% of the 61,000 hectares seem to be infected by moniliasis (45).

Resilient and rapidly dispersing spores are apparently susceptible for most cacao crops.

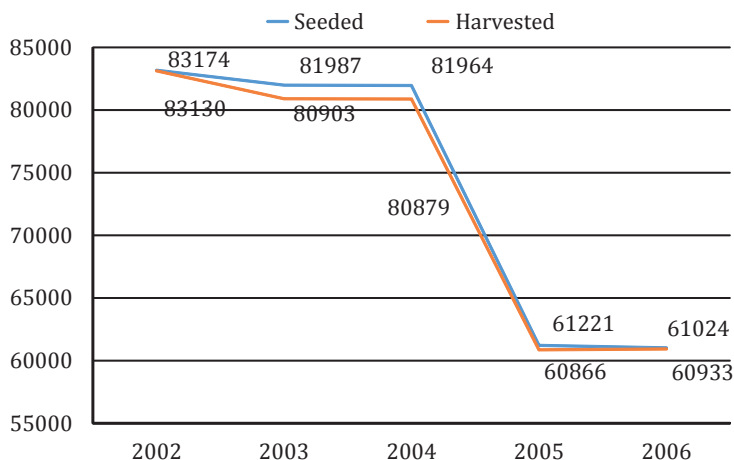


Figure 1. The falling production of cacao between 2002-2006 (19).

Figura 1. La caída de la producción de cacao entre 2002-2006 (19).

The fungus is best controlled through avoidance, due to human-mediated dispersal of the pathogen into new plantations, however strategies based on chemical as well as biological basis seem to far less efficient than adoption of cultural practices such as removal of attacked pods as well as pruning of the shade and cacao trees (23).

Especially, it is the weekly removal of attacked pods seems to be a crucial tool for prevention of the dispersion of spores, but at the same time a reason for discouragement of production of cacao, due to increased requirements for manual work, also combined with the age of the plantations being in average 70 years old and therefore providing low rentability (44).

One of the reasons for the efficiency of such practice is a possible reduction of dispersion potential of the spores of moniliasis fungus that thrive on old, not pruned plantations and high cacao trees.

The removals of infected pods as well as cutting the cacao trees in height and heavy pruning does bring results, as showed and experiment in Tabasco in 2013, where 5,000 hectares were subjected to intense practices of removal and pruning and led to increase of productivity per hectare from 350 to 800 kilograms (44).

The problem of Mexican cacao production however could be more complex than just a challenge related to chemical or biological elimination of the fungus. It is a problem of a social and demographic nature, related to cultural practices, age of producers, abandonment of the traditional production manners, which could be understood as a function of dynamics of social capital in the Mexican countryside (8). The study hence attempts to find a link between social capital and productivity of the producers in a cacao producing region in Central Tabasco, with

the goal to illuminate possible strategies for revival of declining traditional sector of production.

More than 50 years old mincer's earning function was identified as a potentially analogue theoretical construct usable for the solution of the abovementioned problem as the rentability of the cacao producers could be viewed through the lens of a function of social capital comprising of their social connectivity as well as of adopted practices and hence being correlative with the schooling and experience related models. The model was first described by J. Mincer, who modelled the logarithm of earnings as a sum of education in years, combined with a quadratic function of a period of potential experience, which become one of the cornerstones of empirical economics (18). While Becker (1964) considered the internal rate of return to schooling as the key concept of the theory of human capital, Hermann (2008) employed the mincer model on analysis of the effects on social on wages in European countries. Besides these applications there was rather a scarce application of the Mincerian wage on social capital.

Social capital and cacao production

Before applying the concept of social capital on cacao production in order to derive possible connection between the success of cacao production and social capital present in the countryside, the social capital concept is to be inducted and related with the problematics of cacao production. Interest of many scholars in the social capital concept has grown over the past years due to the fact that, there exists a relationship between the social capital stock and economic development, besides others. However, the notion of social capital is not a new

phenomenon (24), although it became subject of too many different meanings.

The concept of social capital as identified by Bourdieu (1986) was given a clear theoretical framework by Coleman (1990) who states that, social capital can be referred to as a collection of different bodies consisting of aspects of social structure that facilitate presence of personal or corporate actors, within the structure (8). Putnam (1995) describes social capital as connections among individual social networks and the trustworthiness and reciprocity of norms.

Woolcock (2001) on the other hand states that social capital is the network facilitating a collective action, leading to a group formation and formation of other forms of civic or collective actions. Narayan and Pritchett (1997) define social capital as the accumulation of resources contributing to higher generation of income and explaining how it enhances cooperation, community cooperative action and leads to solution of common property conflicts at the local level, as shown by Heller (1996) on the case of horizontal solidarity contribution to economic development of Kerala state in India.

According to this view, social capital speeds up the assimilation of innovation by strengthening the linkages among individuals and amounts to improved quality and quantity of information asymmetry helping to reduce transaction costs, but also pooling risks allowing households to engage in higher risk activities with higher return on such activities (19), thus being an important contribution to economic development. Baland and Platteau (1996) described how through social capital and community based group formation helped villagers in Madras to form a community-managed forests through gaining access to state-

controlled forests, enabling villagers to control the forest from illegal logging, fires and cultivation while ensuring all year grazing forest area, contributing enormously to the development of the forest and the village at large.

Durlauf and Fafchamps (2005), suggest that, through social capital, involvement in community organisations can help in the facilitation of information channels. Interactions between individual often comes with the sharing of information which bring about knowledge transfer and sharing.

According to Coleman (1990) and Putman (1993), there is a positive influence of social capital on economic growth, as the promotion of trust and cooperation among agents results in social capital increases due to more efficient collective action (9, 17, 25).

The value of social capital lies in its ability to relinquish an efficient cycle of production through the investment into relationships encouraging the reduction of transaction costs as well as the friction of productive activities (40). Davies (2001) suggests two theoretical models which underpins the concept of social capital by embracing a neo-Marxist and a neo-Liberalist perspective.

The former according to Davies (2001) is an approach proposed by Bourdieu while the later typifies that of Putnam (1995), who is considered as the pioneer of the concept into the wider media from the academic arena. The neo-Marxist approach of social capital places more emphasis on resource accessibility and the issues of power in societies. As suggested by Baum (2000), Bourdieu highlights the different roles played by the various forms of capital in the reproduction of unequal power relations. Coleman (1990) from the view point of rational action views

social capital as not a single entity but as a variety of many entities having different characteristics in common as inscribed in its function.

Many empirical studies have tried to find the link that exists between social capital and production. Wolz *et al.* (2005) in their work on the impact of social capital on farm and household income on individual farmers in Poland found out that, social capital is significant in determining the level of agricultural income, however also concluding that, the impact of social capital on the level of agriculture is not as clear cut as expected.

Their findings point out the fact that, if individual farmers are able to increase the level of their agricultural income if they are able to actively participate in formal organizations. Adding to this, also working on the effect of Social Capital on the choice to use sustainable agricultural practices concluded that, the participation of farmers in community based organisations has a positive influence on their choice of practicing sustainable agriculture, while the extent to which a farmer adopts the practice of sustainable agriculture is influenced by social capital.

The study of Lawal *et al.* (2009) suggests that, though the status of social capital was found to be low, its influence suggests the involvement of farmers in associations at the local level that will increase their social capital level which in turn will enable them have access to more credit and therefore improve their production capacity.

Evidently, Grootaert and Bastelaer, (2002) on their work in Madagascar and Bangladesh opined that, economic heterogeneity among groups, especially, groups with varied income sources improves the rate of repayment due to the ability of group members to pool risks and as

such, social capital is identified as a major contributor to improving the income of the poor through improving the outcome of activities of the poor that might affect them. Social capital improves rural household's access to credit, education and enhances efficiency in rural programs towards agricultural productivity.

Social capital as evidently presented by these studies above suggests that higher participation levels, implementation of social networks and local organizations increases an individual's ability to access credit and this perhaps is the view in which social capital is identified as truly social in a way that, building of trust and networking among individuals on the background of a social setting spills over into the material benefits. Such meaning of social capital has been described in previous studies by Putnam *et al.* (1993). As suggested by Sharma and Zeller (1997), there is a positive spillover effect on the number of self-help groups on the credit performance of groups.

Other studies such as Kahkonen (1999) on the spillover effects found out that, community efforts to build water delivery channels is enhanced by the presence of non-water related associations and networks in the community.

As far as social capital and cacao production is concerned, several researches were done with varied focus that however could have an expressive value on the social capital related matters.

The Abia State research in south-eastern Nigeria interviewed 80 respondents showed that women have significant contribution to farm decision making among cacao farming households, where age, level of education, marital status and farm size have negatively affected women's contribution to farm decision making however, farmer organization and

extension institutions have a positively impact (32).

Effendy *et al.* (2013) found that education and farming experience could help to increase cacao production by adoption a modern technology, another study, while a study Ondo State Nigeria showed that gender and level of education have a positively associated with adoption of the disseminated cacao technologies (31).

The study of Yahaya *et al.* in 2015 found out that farmer demographic characteristics have significant effect on cacao production, and concluded that government should support producers with technology adoption as the most efficient way of support.

Another important factor should take in consideration that cacao farmer's access to rehabilitation techniques information which also could help them to get more knowledge about modern cacao production (2), by the study of Abbeam *et al.* (2014), with trying to determine the ability of cacao farmers to use agrochemicals through interviews of 156 cacao farmers in Ghana, the results showed that gender, age, size of household and farm, educational level and the average age of cacao farms have an important effect in agrochemical usage but in general the purchasing power of these inputs are very low and these agrochemicals play a crucial role in increasing the productivity of cacao farms in south-eastern Asian countries.

Objectives and hypothesis

The aim of this work is to show that there is a relationship between the behavior of cacao producers expressed as a function of social capital and production output related variables. If such aim is proven, it would provide a hint on the explanation what may lie behind the

falling production of Mexican cacao, not reduced only to impact of fungi nor market related impacts. In more detailed focus, the objectives of the work are to find a potential relationship between characteristics of chosen variables related to a cacao production such as annual production per hectare, rentability of each producer, a combination of production processes such as pruning or shortening of cacao trees and characteristics of social capital fragmented into concrete chapters such as trust, norms and rules, interaction and network related effects.

In order to test the results of the questionnaire, the following hypothesis were formulated, to proof the whether there is a potential link between the social capital of smallholders as understood through the lens of Social Capital Theory and the impact on production due to information access, information transfer, collaboration as well as access to networks and infrastructures, the following hypothesis were formulated.

H₁: There is a significant relationship between social capital associated with a producer and rentability of annual production of cacao per hectare.

H₂: Social capital of type D has higher impact than social capital of dimension A, B and C on the rentability of the producers.

H₃: There is a significant relationship between social capital associated with a producer and a combination of pruning, reduction of height of cacao trees and age of the producers.

METHODOLOGY

Data

Data collection took place in February 2016 in municipality C-16 Gral. Emiliano Zapata, Cardenas, in Central Tabasco in south-eastern Mexico, where 101

semi-structured questionnaires with a combination of 50 principal questions entailing 230 subquestions which however include aksi monthly calendars. The questions are closed as well as open ended of a dichotomous and contingency type, as well as based on level of measurement related to agricultural and socio-economic standing of smallholders, were distributed among the rural population of cacao producers landowners.

The collection was done by an interdisciplinary team composed of both agronomists as well as economists and cacao producers and was possible due to a collaboration between Czech University of Life Sciences Prague, Autonomous University Chapingo and the department of Economic Development of Municipality of Cardenas as well as of an Association of Cacao Producers of Tabasco.

No collection of this type was done in the past in the locality, which was chosen for its importance for the cacao production on national level, as the production of cacao in Tabasco State ranks 3rd in its economic importance in the state and 1st in terms of cacao plantation surface on national level, distributed between four municipalities of Comacalco, Cardenas, Cunducan and Huimanguillo (38), while C-16 belongs to most important cacao plantation in Cardenas being positioned in a coastal plateau at altitude of 10 meters. In terms of socio-economic standing, the C-16 municipality was according to the 2010 census inhabited by 3684 inhabitants, with 7.6% occurrence of analfabetism, low presence of indigenous groups (0.11%) and cocoa being a predominant cash crop being produced in 818 farms, out which 0.71% were equipped with computer.

The descriptive statistics of selected variables such as age, years of experience, family character, size of cacao plantations in terms of surface as well as number of

trees, age of plantation, height of trees, cost of chemical care as well as cost of pruning, quantity produced and total production are described in table 1 (page 193) and table 2 (page 194) below.

Theoretical framework and definition of dimensions of social capital

The poor definition and inconsistencies in defining on what social capital stands for have resulted in definition of several dimensions of social capital, conceiving different forms, levels and characteristics that divide the concept on different dimensional levels.

On the aspect of characteristics of social capital, the concept can be grouped as relational dimension, resource dimension and structural dimension.

However there exist other forms of dimensions of social capital and as opined by Molina-Morales (2010) these include expressive ties and instrumental ties, relational dimension, cognitive dimension and structural dimension (45).

Social capital can also be divided into individual level which consists of benefits or potential benefits that an actor enjoys as a result of social networking, while the next dimension is communal level which includes civic spirit, community trust, and adherence to beneficial norms.

As one of the main dimension is considered the trust (8, 25, 45), followed by rules and norms governing social action accompanied by sanctions and information flow capacity (9, 11), types of social interaction (11) and network resources. The theoretical framework summarizations upon which is based the outcome of this analysis, could be described in the illustrative hypothesis (a,b,c) as mentioned below.

The social capital increases according to the level of participation in voluntary associations (20).

Table 1. Descriptive statistics of chosen quantitative data variables collected.
Tabla 1.1 Estadística descriptiva de variables colectadas elegidas.

Descriptive statistics variables	Age	Years of experience	Family members			Surface of cacao plantation	Number of trees	Age of trees	Height of trees
			Men	Women	Children				
Mean	58.41	26.37	1.85	1.87	1.44	2.21	1266.24	29.07	4.43
Standard error	1.41	1.12	0.1	0.1	0.14	0.18	94.36	1.3	0.13
Median	58	25	2	2	1	2	1200	30	4
Mode	50	30	1	1	1	1	600	30	5
Standard deviation	14.1	10.85	0.96	0.97	0.8	1.84	948.35	13.06	1.26
Sample Variance	198.73	117.7	0.92	0.94	0.64	3.37	899371.7	170.69	1.58
Kurtosis	-0.54	-0.45	1.61	1.3	-0.23	11.1	13.55	28.49	4.82
Skewness	0.13	0.02	1.3	1.22	0.22	3.19	3.26	3.82	1.39
Range	70	50	4	4	3	9	5720	120	8
Minimum	26	5	1	1	0	1	480	5	2
Maximum	96	55	5	5	3	10	6200	125	10
Count	100	94	92	93	32	100	101	101	100

Tabla 2. Descriptive statistics of chosen quantitative data variables collected.
Tabla 2. Estadística descriptiva de variables colectadas elegidas.

Descriptive statistics variables	Chemical protection cost per 1 ha	Pruning cost per 1 ha	Quantity produced - baba	Total monthly production					
				Jan	Feb	Mar	Oct	Nov	Dec
Mean	197.4	496.08	1044.55	214.65	218.27	211.14	232.17	237.32	235.74
Standard error	18.51	31.29	64.01	12.4	13.74	13.78	13.71	15.04	13.86
Median	166.67	425	1000	180	175	160	200	200	200
Mode	250	500	1000	300	300	300	300	300	300
Standard deviation	186.04	314.46	643.27	124.65	138.04	138.44	137.77	151.19	139.34
Sample variance	34611.32	98887.77	413795.05	15536.63	19055.22	19166.94	18979.8	22857.68	19414.69
Kurtosis	26.37	0.84	14.15	3.96	2.34	3.7	0.81	6.17	3.1
Skewness	4.33	1.01	2.95	1.48	1.41	1.48	0.99	1.84	1.43
Range	1474	1465	4900	785	685	840	680	980	780
Minimum	26	35	100	15	15	10	20	20	20
Maximum	1500	1500	5000	800	700	850	700	1000	800
Count	101	101	101	101	101	101	101	101	101

Networking leads to higher accumulation of social capital (9, 17, 26)

Interaction, mentoring and mutual support leads to higher social capital (19, 35).

Taking these definitions into account and creating and intersection of the available data and in the assumption of social capital being a sum of the following variables, we award the following criteria as social capital prone qualities in table 3.

Estimation method used

We compare the production of chosen variables products with four chosen Social Capital indicators, searching for a

relationship using mincer's regression model through cross sections of data analysis with fixed effects within Ordinary Least Square (OLS) method, as depicted in formula below.

The advantage of mincer's framework is that its capture of two different economic concepts. While the hedonic or wage function reveals rewards of the labor market for productive assets such as experience and schooling, the rate of return of education provides a comparison which could be used to determined the optimal level of investments of human capital (14).

Table 3. Dimension of social capital related to the questionnaire.
Table 3. Dimensiones de capital social relacionadas con el cuestionario.

Dimensions of social capital	Question number	Questions in the questionnaire
A. Trust	5	Years of experience
	44	Increased level of confidence
B. Rules and norms governing social action	3	Education
	6	Children studying university degree
C. Types of social interaction	16	Relative economic importance of the activity
	29.34	Assessment by professional agronomists
	29.36	Group work participation
	29.38	Experience interchange
	43	Participation in the past year
	33	Technical assistance
D. Network resources	7	Number of family members
	13	Number of families living the household
	29.35	Membership in an organization
	29.40	Institutional relationship

The original equation provided by Mincer (1974), as per Formula 1, is listed below:

$$\text{In}y = \text{In}y_0 + rS + \beta_1 X + \beta_1 X^2 \quad (1)$$

where:

y = earnings

y_0 = earnings of those without education nor experience

S = years of schooling

X = years of potential experience in labour markets

The tailored substitution of the original Mincer was done through substitution of earnings (y) by output of cacao production and analogically of y_0 , while years of schooling were substituted by Social Capital_{A,B,C,D} and Cacao Care variable.

In the first calculation of the Regression 1 (Formula 1) the statistical relationship between the annual cacao rentability per 1 ha and the Social Capital_{A+B+C+D} sets was sought, while providing an answer to the H_2 .

Formula 2 (table 4, page 197). Regression 1-the relationship between the different types of social capital and rentability.

In the second calculation of Regression 2, the Cacao Care variable and Social Capital_{A+B+C+D} was provided, employing the Formula 2 (table 4, page 197) below. The Cacao Care variable is provide in Formula 2 (table 4, page 197).

$$\text{In}y = \text{In}y_0 + \beta_1 A_i + \beta_2 B_i + \beta_3 C_i + \beta_4 D_i + \omega_i^2 + \varepsilon_i$$

Formula 3 (table 5, page 197). Regression 1: relationship between the Cacao Care variable and Social Capital_{A+B+C+D}

Statistic fit and F-test was applied for both calculations in order to confirm the robustness.

RESULTS AND DISCUSSION

The first examination in table 6 (page 198), below revealed that there cannot be found a convincing relationship between social capital and cacao production her hectar, as all p-values are above the required 5% threshold (A=0.16; B=0.62; C=0.50; D=0.22, Cacao Care=0.8).

In the second examination as per table 7 (page 198) below, in a similar tone most of the variables could not be considered as statistically significant as the p-values exceed the 5% threshold (A=0.27; B=0.48; D=0.40).

However, the social capital of type C shows signs of statistical relationship with Cacao Care dependent variable.

The result point at rather a surprising result of a negligent importance of social capital and productivity of the cacao plantation.

The hypothesis on a significant relationship between social capital associated with a producer and rentability of annual production of cacao per hectare cannot be confirmed. In other words, producers that show low level of social connectivity not necessarily have to show lower productivity per hectar, while the productivity is rather dependent on other factors.

With this particular result comes and uncertainty in relation to the second hypothesis H_2 , which therefore cannot be confirmed either.

The third hypothesis can be however confirmed as there seems to be a significant relationship between social capital associated with a producer and his/her social interaction such as group work, interchange of experience, requested technical assistance or assessment by experts. Combination of approaches including pruning, reduction of height of cacao trees and age of the producers are indeed boosted by the social capital that is created in a collective interaction.

Table 4. Variables applied in formula 1 (page 196).
Table 4. Variables aplicadas en fórmula 1 (page 196).

y_i	be a dependent variable y in market i related to cacao output, where P corresponds to annual production and S corresponds to cacao producing surface calculated as $y_i = \left[\sum \frac{P_i}{S_i} \right] / S$
y_0	average cacao output of 20% producers with low social capital according to Pareto principle
A, B, C, D	be the independent variables related to different type of social capital A as calculated in table 7 (page 198).
$\beta_{1,2,3,4}$	be the coefficient of x : social capital A,B,C,D
α	be the intercept of the regression line and the Y axis
ϵ_i	be an error term - residual value describing market i
ω_i	be a performance variable of Cacao Care $\omega_i = \ln \left(\frac{AP * HP}{C_p * C_{Ch}} \right)$ <p>where: AP = Age of Plants HP = Height of Plants C_p = Cost of Pruning C_{CH} = Cost of Chemical Care</p>

Table 5. Variables applied in formula 2 (page 196).
Tabla 5. Variables aplicadas en fórmula 2 (page 196).

ω_i	be a performance variable of Cacao Care as described in table 4 (page 197)
A, B, C, D	be the independent variables related to different type of social capital A as calculated in table 4 (page 197)
$\beta_{1,2,3,4}$	be the coefficient of x : social capital A,B,C,D
α	be the intercept of the regression line and the Y axis
ϵ_i	be an error term - residual value describing market i and time t
ω_i	average performance of 20% of producers with low performance variable of Cacao Care, according to Pareto principle

Table 6. Model 1: OLS, dependent variable Rentability.
Tabla 6. Modelo 1: OLS, variable dependiente Rentabilidad.

	Coefficient	Std. Error	t-ratio	p-value
const	0.013646	0.0450645	0.3028	0.7627
A	0.000599971	0.000428577	1.3999	0.1648
B	-0.00358642	0.00737424	-0.4863	0.6278
C	-0.00532681	0.00790991	-0.6734	0.5023
D	0.00561049	0.00463063	1.2116	0.2287
Cacao Care	-1.19122e-06	5.74432e-06	-0.2074	0.8362

Mean dependent var	6.165696	S.D. dependent var	0.869020
Sum squared resid	0.253936	S.E. of regression	0.051701
R-squared	0.996671	Adjusted R-squared	0.996461
F(6, 95)	4740.020	P-value(F)	2.4e-115
Log-likelihood	161.0461	Akaike criterion	-308.0923
Schwarz criterion	-289.7175	Hannan-Quinn	-300.6517

Table 7. Model 2: OLS, dependent variable Cacao Care variable.

Tabla 7. Modelo 2: OLS, variable dependiente Cacao Care.

	Coefficient	Std. Error	t-ratio	p-value	
const	-1.22555	1.22929	-0.9970	0.3213	
A	0.0238686	0.0216546	1.1022	0.2731	
B	0.258438	0.370624	0.6973	0.4873	
C	0.778547	0.389362	1.9995	0.0483	**
D	-0.0366215	0.043771	-0.8367	0.4048	

Mean dependent var	1.184230	S.D. dependent var	2.677351
Sum squared resid	678.0635	S.E. of regression	2.643926
R-squared	0.063434	Adjusted R-squared	0.024812
F (4, 97)	1.642456	P-value(F)	0.169788
Log-likelihood	-241.3394	Akaike criterion	492.6788
Schwarz criterion	505.8037	Hannan-Quinn	497.9935

CONCLUSION

This type of interaction may therefore be crucial in the strategy of implementation of new practices that may be vital in the fight against moniliasis outbreak and may have higher importance than network resources, trust and rules and norms implemented through external action.

The study proposes to enhance agronomic approach focused on solution of complex agroindustrial phenomena by categorical considerations related to social capital of the moving force of the agroindustry itself: the smallholders and their social ecosystems.

In the particular case of mexican cacao, if only the mean age of producers reaches 58 years is to be mentioned it is clear that the nature of the individual smallholders must have an inevitable and intrinsic impact on care and thus on the fate of cacao plantations, while it is possible to move beyond this simple indicator and look for more complicated, social capital related patterns behind the production output.

Result of the analysis using the lens of Mincerian wage function on the cacao production related data Central Tabasco, yielded a result confirming that collective action can possible be one of the most efficient ways of creating social capital that will actually translate into adoption of new practices and implementation of innovations in the countryside. This result was distilled from the statistically significant relationship between a sum of activities such as interaction between producers, sharing of local knowledge and interaction with external sources of information and impact of the abovementioned fungus on the production output.

Collective work and frequent interaction thus seem to be a most efficient vehicle not only for information dissemination, but also to synchronization

of employed used methods in smaller communities such as the community C-16 Gral. Emiliano Zapata in Central Tabasco. Less convincing results on the relationship between social capital and the general productivity point at the fact that social capital may be an overrated concept or on the other hand a too complex phenomenon that is to be studied from many deeper angles before there is a certainty of the answer to the question on what it actually is and how dependent/how impacting is this phenomenon on local collectivities.

Even if the paper can however raise a question on the extent to the claim of the Mincer model on the exogeneity of the productive efficiency, the message of this result on pointing at social interaction as the most important class of social capital is distinct and could become a signal for the focus of subsidies in the cacao producing sector. This could be essential for the perspective of the sector, especially during an era of fight against a rapidly expanding plague that is according to cacao producers also fomented by ancient practices that naturally support the dissemination of spores of moniliasis, such as insufficient pruning and excessive height of the cacao plants.

REFERENCES

1. Abbeam, G. D.; Setsoafia, E. D.; Ansah, I. G. K. 2014. Modelling farmers investment in agrochemicals: the experience of smallholder cacao farmers in Ghana. *Research in Applied Economics*. 6(4): 1-16.
2. Adeogun, S. O.; Olawoye, J. E.; Akinbile, L. A. 2010. Information sources to cacao farmers on cacao rehabilitation techniques (CRTs) in selected states of Nigeria. *Journal Media and Communication Studies*. 2(1): 9-15.
3. Baland, J. M.; Platteau, J. P. 2000. *Halting Degradation of Natural Resources: Is There a Role for Rural Communities?* Oxford University Press.
4. Baum, F.; Palmer, C.; Modra, C. 2000. Families, social capital and health. In Winter, I. (Ed) -*Social capital and public policy in Australia*. Melbourne: Australian Institute of Family Studies p. 250-274.
5. Becker, G. S. 1964. *Human capital: a theoretical and empirical analysis, with special reference to education*. National Bureau of Economic Research, New York. Distributed by Columbia University Press.

6. Blare, T.; Useche, P. 2013. Competing objectives of smallholder producers in developing countries: examining cacao production in Northern Ecuador. *Environmental Economics*. 4(1): 72-80.
7. Bourdieu, P. 1986. The Forms of Capital. 1985. *Handbook of Theory of Research for the Sociology of Education*. p. 56.
8. Boza, S.; Marcos, G.; Cortés, M.; Mora, M. 2016. Perfiles basados en actitudes hacia los programas de apoyo público de microempresarios rurales de la zona central de Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 161-175.
9. Coleman, J. S. 1988. Social capital in the creation of human capital. *American Journal of Sociology* 94: 95-120.
10. Coleman, J. S. 1990. *Foundations of Social Theory*. Harvard University Press, Cambridge, M A.
11. Collier, P.; Hoeffler, A. 1998. On Economic Causes of Civil War. *Oxford Economic Papers*.
12. Dahlquist, R. M.; Whelan, M. P.; Winowiecki, L.; Polidoro, B.; Candela, S.; Harvey, C. A.; Wulfhorst, J. D.; McDaniel, P. A.; Bosque-Pérez, N. A. 2007. Incorporating livelihoods in biodiversity conservation: A case study of cacao agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation*. 16: 2311-2333.
13. Davies, A. 2001. But we knew that already! - A study into the relationship between social capital and volunteering. Conference paper. Anne Davies. Home Start. Sheffield.
14. Durlauf, S. N.; Fafxhamps, M. 2005. Social Capital. In: P. A. a. S. N. Durlauf, ed. *Handbook of Economic Growth*. North Holland: Elsevier B.V. 2: 1640-1666.
15. Effendi, Y.; Jones, A. M.; Scherer, G. F. E. 2013. Auxin-Binding-Protein1 (ABP1) in phytochrome-B-controlled responses. *Journal of Experimental Botany*. 64: 5065-5074.
16. Fleming, K.; Smith, V. E.; Bittenbender, H. C. S. 2009. *The Economics of Cacao Production in Kona*. Honolulu (HI). University of Hawaii. 17 p.
17. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. *Trade Reforms and Food Security*. Rome.
18. Franzen, M.; Mulder, M. B. 2007. Ecological, economic and social perspectives on cacao. *Biodiversity and Conservation*. 16(13): 3835-3849.
19. Geomexico.com. 2012. The Geography of cacao production in Mexico. Available in: <http://http://geo-mexico.com/?p=5900>. (Accessed January 2016).
20. Grootaert, C.; Bastelaer, V. 2002. Understanding and measuring social capital: A multi-disciplinary tool for practitioners. Washington: World Bank.
21. Heckman, J.; Lochner, L.; Todd, P. 2003. Fifty Year of Mincer Earnings Regressions. National Bureau of Economic Research. Working Paper 9732.
22. Heller, P. 1996. Social capital as a product of class mobilization and state intervention: industrial workers in Kerala, India, *World Development*. 24: 1055-1071.
23. Hermann, Z. 2008. The effect of social capital on wage income. Institute of Economic of the Hungarian Academy of Sciences.
24. Kahkonen, M. P.; Hopia, A. I.; Vuorela, H. J.; Rauha, J. P.; Pihlaja, K.; Kujala, T. S. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of the Agricultural and Food Chemistry*. 47: 3954-3962.
25. La Porta, R.; Lopez-de-Silanes, F.; Shleifer, A.; Vishny, R. W. 1997. Trust in large organizations. *American Economic Review*. 87: 333-338.
26. Lawal, J.; B. Omonona, O.; Ajani, O. 2009. Determinants of constraints to credit access among cacao farming households in Osun State, Nigeria. *Pakistan Journal of Social Sciences*. 6(3): 1683-1691.
27. Mendoza-López A, R. A.; Gallardo-Méndez, C. H. 2011. El mundo del cacao (*Theobroma cacao* L.) kawa (Maya) cacahuatl (Náhuatl). *Agroproductividad*. 4: 20-26.
28. Mincer, J. 1974. *Schooling, Experience and Earnings*. New York: National Bureau of Economic Research.
29. Molina-Morales, X. F.; Martínez-Fernández, M. T. 2010. Social Networks: effects of social capital on firm innovation. *Journal of Small Business Management*. 48: 258-279.

30. Narayan, D.; Pritchett, L. 1997. Cents and sociability: household income and social capital in rural Tanzania. World Bank Research Working Paper No. 1796, Washington: The World Bank.
31. Nmadu, J. N.; Sallawu, H.; Omojeso, B. V. 2015. Socio-economic factors affecting adoption of innovations by cacao farmers in Ondo State, Nigeria. *European Journal of Business, Economics and Accountancy*. 3 (2): 58-66.
32. Obinna, A. P.; Ifenkwe, G. E. 2013. Farm decision making among cacao farming households in Ikwuano L. G. A. Of Abia State Nigeria. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*. 2(1): 275-286.
33. Ocampo, B.; Rios, B.; Soria, B. 2012. Production of Cacao in Mexico. FCA UNAM.
34. Philips-Mora, W.; Wilkinson, M. 2007. Frosty pod of cacao: a disease with a limited geographic range but unlimited potential for damage. *The American Phytopathological Society*, 97(12): 1643-1648.
35. Porters, A, 1998. Social capital: its origins and application in modern sociology. *Ann. Rev. Soc.*, No. 24: 1-25.
36. Putnam, R. D. 1993. Making democracy work: civic traditions in modern Italy. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
37. Putnam, R. D. 1995. Tuning in, tuning out: the strange disappearance of social capital in America. *PS: Political Science & Politics*. 28: 664-683.
38. Ramirez-Meneses, A.; Garcia-Lopez, E.; Obrador-Olan, J.; Ruiz-Rosado, O.; Camacho-Chiu, W. 2011. Plant diversity in cocoa agroforestry systems in Cardenas, Tabasco, Mexico. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo*. Cardenas, Tabasco. Retrieved 2016, Available at: http://www.dof.gob.mx/SEDESOL/Tabasco_002.pdf
39. Ramos, G.; Gonzalez, N.; Zambrano, A.; Gomez, A. 2013. Olores y sabores de cacao venezolanos obtenidos usando un panel de catación entrenado. *Revista Científica UDO Agrícola*. (1): 114-127.
40. Rupasingha, A.; Goetz, S. J. 2007. Social and political forces as determinants of poverty: A spatial analysis. *The Journal of Socio-Economics*. 36: 650-671.
41. Sanchez, P.; Jaffe, K. 1992. Rutas de migraciones humanas precolombinas a la Amazonia sugeridas por la distribución del cacao. *Interciencia*. 17(1): 28-61.
42. Sharma, M.; Zeller, M. 1997. Repayment performance in group based credit programmes in Bangladesh. *World Development*. 25(10): 1731-1742.
43. Steffan-Dewentera, I.; Kessler, M.; Barkmann, J.; Bosa, M.; Buchorig, D.; Erasmih, S.; Fausth, H.; Geroldh, G.; Glenke, K.; Gradsteind, S.; Guhardjai, E.; Harteveldd, M.; Herteld, D.; Höhna, P.; Kappash, M.; Köhlerh, S.; Leuschnerd, C.; Maertensj, M.; Marggrafe, R.; Migge-Kleiank, S.; Mogeai, J.; Pitopangl, R.; Schaeferk, M.; Schwarzem, S.; Spornrd, S.; Steingrebek, A.; Tjitrosoedirdjoi, S.; Tweleh, A.; Weberh, R.; Woltmannk, L.; Zeller, M.; Tscharrntkea, T. 2007. Tradeoffs between income, biodiversity and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104. Available at: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0608409104>.
44. Teorema Ambiental. 2015. La producción de cacao en México desciende al octavo sitio. Disponible en: <http://www.teorema.com.mx/biodiversidad/ecosistemas/la-produccion-de-cacao-en-mexico-desciende-al-octavo-sitio>. (Accessed January 2016).
45. Wei-ping Wu. 2008. Migrant Settlement and Spatial Distribution in Metropolitan Shanghai. *Professional Geographer*. 60(1): 101-120.
46. Wolz, A.; Fritzschn, J.; Reinsberg, K. 2005. The impact of social capital on agricultural income among corporate farms in the Czech Republic. Paper presented at the XIth Congress of the European Association of Agricultural Economists (EAAE). "The Future of Rural Europe in the Global Agri-food System", Copenhagen, Denmark. 24-27 August. Available in: http://www.eaae2005.dk/CONTRIBUTED_PAPERS/S46_285_Wolz_etal.pdf (Accessed: 21 November 2005).

47. Wollcock, M. 2001. The place of social capital in understanding social and economic outcomes. *Canadian Journal of Public Policy*. 2: 11-17.
48. Worldatlas. 2015. Top 10 Cacao Producing Countries. Available at: <http://www.worldatlas.com/articles/top-10-cacao-producing-countries.html> [Accessed in 15 March 2016].
49. Yahaya, A. M.; Karli, B.; Gül, M. 2015. Economic analysis of cacao production in Ghana: the case of eastern region. *Custos e @gronegocio on line*. 11(1): 336-352.

ACKNOWLEDGMENT

This research was enabled due to financing provided by CULS IGA project reg. nr. 20165006 and further enhanced thanks the participation of the first author in Eulalinks Sense Erasmus Mundus Partnership EM A2-Strand 1 Lot 8 project.

Influencia de factores contextuales en la adopción de modelos de agricultura insustentables. La incorporación del invernáculo en agricultores platenses

Influence of contextual factors in the adoption of models of unsustainable agriculture. The adoption of the greenhouse in farmers in the horticultural belt of La Plata

María Luz Blandi ¹, Raquel María Rigotto ², Santiago Javier Sarandón ³

Originales: *Recepción: 02/11/2016 - Aceptación: 10/03/2017*

RESUMEN

En las últimas décadas, en el Cinturón Hortícola Platense, gran parte de la producción hortícola al aire libre fue reemplazada por producción bajo invernáculo. A pesar de ser más rentable, esta modalidad afecta de una forma más acentuada las dimensiones ecológica y social de la sustentabilidad. El proceso de toma de decisiones de los agricultores es complejo y en él se ponen en juego factores individuales y factores contextuales (económicos, técnicos y políticos). Se analizó la influencia de los factores contextuales en la toma de decisión de incorporar la tecnología del invernáculo en diferentes agricultores del Cinturón Hortícola Platense. Se utilizó una metodología cualitativa, con entrevistas en profundidad a horticultores de diferente origen y que trabajan con diversos sistemas de producción. Los resultados demuestran que los factores contextuales fueron de gran importancia para que los agricultores optaran por incorporar innovaciones tecnológicas no sustentables. A su vez, se observó que los agricultores que cultivan bajo invernáculo fueron más influenciados por los factores contextuales que aquellos que cultivan al aire libre. Ante un Estado ausente, una ciencia débil y la falta de valoración de bienes ambientales, predominó la dimensión económica en la adopción de sistemas no sustentables.

Palabras clave

Desarrollo agrario • agricultores • Agroecología • estudio de caso • horticultura

-
- 1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). Cátedra de Agroecología. calle 60 y 119 s/n. La Plata. Buenos Aires. marilublandi@hotmail.com
 - 2 Universidade Federal do Ceará. Departamento de Saúde Comunitária. Centro de Ciências da Saúde da.
 - 3 Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). Cátedra de Agroecología. Comisión de Investigaciones de la Provincia de Buenos Aires (CIC).

ABSTRACT

In recent decades, in the Horticultural Platense Region, much of the open field horticultural farming has been replaced by greenhouse cultivation systems. Even though this practice is more profitable than open field farming, it has a more accentuated negative impact on the ecological and social dimensions of sustainability. The decision-making process of farmers is complex and it's subject to individual and contextual factors (economic, technical, political and social). The influence of contextual factors in the adoption of greenhouse technology in different Horticultural Platense farmers was analyzed. A qualitative methodology was used, with in-depth interviews with farmers of different origin, who work with various production systems. The results confirm that contextual factors exerted great pressure on farmers when it came to incorporating unsustainable technological innovations. Additionally, it was observed that farmers who practiced greenhouse farming were more influenced by contextual factors than those who practiced open field farming. With a mostly absent State, a weak science and the lack of monetary valuation of environmental assets, the economic dimension prevails when it comes to adopting unsustainable systems.

Keywords

Rural development • farmers • Agroecology • case study • horticulture

INTRODUCCIÓN

A través de la agricultura, los seres humanos modifican los ecosistemas para transformarlos en agroecosistemas. Esas modificaciones tienen diferentes impactos sobre los recursos naturales según el estilo de agricultura que se realice. Por ejemplo, en las últimas décadas, el modelo de agricultura basada en el enfoque de la Revolución Verde, ha estado asociado a un uso intensivo de insumos (plaguicidas, fertilizantes, entre otros) que, aunque ha permitido un aumento de la productividad y rentabilidad, generó importantes impactos negativos en aspectos sociales, ambientales y económicos (1, 9, 15, 17, 35).

Por el contrario, una agricultura sustentable busca conservar los recursos naturales y preservar la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global; y es a su vez, cultural y socialmente aceptable; y económicamente viable (39).

Los agroecosistemas son sistemas ecológicos insertos en una matriz sociocultural. En ellos, son los agricultores quienes definen el estilo de agricultura a realizar.

Entender cómo es que los agricultores toman estas decisiones es algo que ha suscitado la atención de los investigadores. Los mecanismos utilizados para tomar estas decisiones son complejos y multicausales y han sido analizados por algunas corrientes de pensamiento que lo atribuyen a diferentes causas.

En un extremo, los deterministas (u objetivistas) afirman que las acciones de los agricultores son condicionadas por las estructuras, y perciben a los agricultores como agentes pasivos, sin capacidad de reacción ante esos condicionantes externos (13).

En el otro extremo, los conductistas (o subjetivistas), afirman que los agricultores son activos, y pueden tomar

decisiones "racionales" libremente sin condicionantes externos (13).

Dentro de esta escuela, se podría nombrar a Rogers (1962) con su famosa "teoría de la difusión de innovaciones". Por su parte, Bourdieu (1988) afirma que ambas concepciones no son excluyentes y que, además, están relacionadas. Este autor postula que, aún en ámbitos donde la estructura y las reglas son sofocantes, hay espacios para la toma de decisiones. Por lo tanto, ambas deben ser consideradas.

En el presente trabajo, se entiende que los agricultores son reflexivos, activos y toman decisiones, pero están situados y condicionados por la estructura, el espacio y el tiempo (7). Por ello, se asume que, en el proceso de toma de decisiones sobre la tecnología a utilizar, se ponen en juego factores individuales y factores contextuales (5, 20, 46). En relación con las variables contextuales, se pueden citar las de tipo económicas (22, 25, 26, 33, 42), científico-técnicas (14, 38, 44), políticas (23, 30) y sociales (24). A su vez, estos factores contextuales exigen un estudio localizado porque pueden influir de forma diferente según las particularidades de cada región.

Uno de los aspectos que genera más interés en el logro de modelos de producción más sustentables es que, a pesar de que existe un consenso en varias instituciones sobre la necesidad de lograr modelos que mejoren la sustentabilidad, la toma de decisiones de los agricultores no necesariamente va en esta dirección. Este es el caso de lo ocurrido con la incorporación del invernáculo en la región hortícola de La Plata, Argentina.

El Cinturón Hortícola Platense (CHP), ubicado en la provincia de Buenos Aires, Argentina, puede ser entendido como un territorio donde coexisten varias territorialidades (35) representadas por agricultores de diversos orígenes, con sistemas

de producción que varían en el grado de incorporación tecnológica y con procesos históricos y políticos particulares. Pero ello no siempre fue así. Esta realidad es la consecuencia de la modernización hortícola representada, principalmente, por la incorporación del invernáculo y su paquete tecnológico.

Según García (2014), la incorporación del invernáculo comenzó en la década del 80. Hasta ese momento el cinturón hortícola estaba conformado por agricultores italianos y, en menor medida, por portugueses y sus descendientes.

El perfil de los productores era bastante homogéneo, pequeños y medianos con bajas inversiones de capital y con producción diversificada (3). Sin embargo, el invernáculo empezaba a incorporarse en forma incipiente, con un manejo muy similar al realizado al aire libre. También, hubo escasa asistencia técnica desde organismos públicos y privados.

En la década del 90, se expandió fuertemente su superficie, liderada por agricultores de origen europeo o sus descendientes. Además, ocurrieron grandes migraciones de trabajadores de Bolivia para el sector hortícola, cumpliendo el papel de peones o medieros. En esta década, el sector hortícola platense profundiza la incorporación tecnológica del invernáculo, transformando a La Plata en el cinturón hortícola más tecnificado del país (20).

La incorporación del cultivo bajo cobertura plástica modificó radicalmente los sistemas productivos, a través de la utilización de semillas de alto potencial de rendimiento, mayor uso de agroquímicos, equipos de riego localizado, fertirriego, polietilenos y mallas antitrips, entre otros (41).

La complejidad del manejo de los cultivos bajo invernáculo fue creciendo, lo que generó que el asesoramiento técnico se transformara en un insumo más del paquete tecnológico (20).

Con las políticas neoliberales de los años 90, los organismos del estado retrajeron sus intervenciones, tomando preponderancia el asesoramiento privado (20). En este período, la expansión de las cadenas de supermercados, tuvo un impacto en la estructura general de circulación y distribución de los productos hortícolas, desplazando el poder de negociación hacia las etapas finales, otorgándole al supermercado un peso decisivo (21).

A partir del año 2002 con la pos devaluación, muchos agricultores abandonaron la actividad, debido a los vaivenes del mercado y a la recesión económica, generando un aumento en la disponibilidad de tierras y, consecuente, depreciación del valor de la renta. En este contexto, fueron los agricultores de nacionalidad boliviana quienes continuaron con la incorporación del invernáculo. Esto fue posible porque la población boliviana ya representaba una gran proporción de la mano de obra mediera, y gracias a su autoexplotación del trabajo y ahorro, se convirtieron en productores arrendatarios e invirtieron en invernáculos.

Actualmente, aunque las condiciones contextuales sean diferentes, todavía su adopción continúa en pleno apogeo por este mismo agricultor. Según un informe del Consulado Boliviano, el 85% de los agricultores del Cinturón Hortícola Platense son bolivianos (12). En cuanto a la superficie con invernáculos, el Censo Hortiflorícola (10) arroja que La Plata cuenta con el 30% de su superficie bajo esa tecnología; sin embargo, a través de estimaciones, se piensa que ya supera el 75% (43).

Estos cambios en la manera de producir, hicieron que, en general, la horticultura de La Plata avanzara hacia sistemas menos sustentables (4).

El cultivo bajo invernáculo, a pesar de ser más rentable que el cultivo al aire libre, afecta de una forma más acentuada las dimensiones ecológica y social de la sustentabilidad. En este sentido, bajo invernáculo, se utilizan varias prácticas intensivas de manejo, que impactan de manera más agresiva sobre los recursos naturales y sociales, en comparación con las prácticas utilizadas en los cultivos al aire libre (6).

Tanto el INTA (Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria) (2005) como EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2006), han reconocido la necesidad de pasar de una agricultura altamente dependiente de insumos, a otra basada en tecnologías de procesos ecológicos que sea más sustentable. Para ello, el INTA ha creado el Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar (IPAF) y el EMBRAPA ha desarrollado numerosos programas y proyectos que incentivan la Agroecología.

Sin embargo, se presume que los factores contextuales de la región no se han adecuado para favorecer estos objetivos. Además, la diversidad cultural que hay en el territorio, lleva a pensar que tal vez, existan diferencias en el impacto de los factores contextuales sobre los agricultores.

Según Bédard (2005), existen diferencias entre la visión occidental (o sociedad moderna) y la andina. Mientras que para la primera el ser humano es el centro del universo, para la segunda, el hombre se ubica en una relación de horizontalidad con el resto de la naturaleza. Si bien los agricultores bolivianos aprendieron a cultivar de forma “comercial” en La Plata, conllevando una pérdida de características netamente campesinas, se podría pensar que este actor social se encuentra en una condición intermedia, con identidad

porosa: "horticultor capitalista con rasgos campesinos" ya que, siendo agricultores, todavía conservan algunas características campesinas, como el aporte del trabajo físico y el papel decisivo de la mano de obra familiar (19).

Entender entonces las razones que llevaron a los agricultores a adoptar un modelo tecnológico menos sustentable es entonces un desafío a encarar a fin de diseñar estrategias adecuadas en este sentido.

El objetivo del trabajo es analizar la influencia de los factores contextuales (económico, técnico, y político) en la adopción de la tecnología del invernáculo de las diferentes territorialidades del Cinturón Hortícola Platense.

METODOLOGÍA

Se trabajó en el Cinturón Hortícola de La Plata (CHP), provincia de Buenos Aires, que cuenta con una alta heterogeneidad de agricultores en cuanto a nacionalidad, grado de capitalización, organización social del trabajo y canales de comercialización. Con base en Hang *et al.* (2010) se realizó la clasificación de agricultores que se encuentra en la tabla 1. Se entrevistaron, como estudio de caso, a agricultores hasta que las entrevistas no aportaran nueva información (16). Como resultado, se entrevistaron a 4 de cada grupo descripto a continuación, resultando un total de 16.

Tabla 1. Caracterización de los grupos de agricultores entrevistados del CHP.

Table 1. Characterization of the groups of farmers interviewed by the CHP.

	Agr. origen boliviano que cultivan bajo invernáculo	Agr. origen europeo que cultivan bajo invernáculo	Agr. origen europeo que cultivan al aire libre	Agr. origen boliviano que cultivan al aire libre
Sistema de producción	Invernáculo	Invernáculo	Aire libre	Aire libre
Origen	Bolivia	Europeo	Europeo	Bolivia
Tenencia de la tierra	Alquila	Propia	Propia	Pago canon anual
Mano de obra	Familiar complementada, a veces, con socios	Asalariada y familiar	Familiar complementada, a veces, con mediero	Familiar
Comercialización	Culata de camión* y mercados concentradores	Mercados concentradores y venta directa a supermercados	Mercados concentradores, culata de camión, ferias	Quinta y mercados concentradores

*Culata de camión: modalidad de venta donde el intermediario compra las verduras directamente en la quinta, pactando cantidad y precio en el momento.

*Culata de camión: sale mode where the intermediary buys vegetables in the farm, agreeing quantity and price at the time.

Relevamiento y análisis de la información

Se realizaron en promedio 4 visitas a cada agricultor en sus fincas, de una duración de entre 1 hora y 1 hora y media por visita. La información a campo fue relevada partir de entrevistas en profundidad (31). Para utilizar esta técnica, se realizó un guión de entrevista con los temas a tratar por el entrevistador. En ningún caso hubo preguntas cerradas o con opciones de respuesta para elegir.

Luego, las mismas fueron desgrabadas en su totalidad. Para su análisis, se siguieron los lineamientos de Minayo (2012) y Huberman y Miles (1994). Se realizaron varias lecturas de las transcripciones, con el objetivo de delimitar fragmentos textuales según las categorías descriptas a continuación:

- Dimensión económica (mercado)
- Científico-técnica (asesoramiento técnico)
- Dimensión Política (políticas públicas)

Los fragmentos fueron agrupados de forma manual en su categoría correspondiente. Luego, el análisis e interpretación se centraron en el material

discursivo acumulado en cada categoría y se organizaron de una forma argumental y narrativa (28, 32). Se complementó el análisis con una búsqueda bibliográfica sobre el tema.

RESULTADOS

A continuación, se muestra un cuadro resumen (tabla 2) sobre las principales diferencias encontradas en los factores contextuales de diferentes grupos de agricultores del CHP.

Mercado

En esta categoría todos los grupos de agricultores coincidieron en relación con la incertidumbre que tiene la actividad. Los agricultores aclararon que nunca saben a qué precio se va a vender la mercadería. Además, relataron que cuando los compradores se enteran que fue cultivada al aire libre la pagan menos. También, remarcaron la presión ejercida por los compradores en relación con la calidad cosmética de los productos, tanto en los mercados concentradores, a través de consignatarios y en la venta directa.

Tabla 2. Principales diferencias entre los factores contextuales en agricultores de diferentes grupos del CHP.

Table 2. Main differences between contextual factors in farmers of different CHP groups.

	Aire libre		Invernáculo	
	Agr. europeo	Agr. boliviano	Agr. europeo	Agr. boliviano
Mercado	-	-	--	--
Asesoramiento técnico	-	-	--	--
Políticas	--	+	--	--

+: aspecto que favorece la adopción de modelos más sustentables; - : aspecto que no favorece la adopción de modelos más sustentables. El número de símbolos representa la intensidad con que ese aspecto influye en los agricultores.

+: aspect that favors the adoption of more sustainable models; - : an aspect that does not favor the adoption of more sustainable models. The number of symbols represents the intensity with which that aspect influences the farmers.

Por último, los agricultores resaltaron que la mercadería tiene que estar visualmente perfecta, con color homogéneo y brillante, sin ningún tipo de marca o picadura, ya que todo es excusa para disminuir el precio.

Además, se registraron las siguientes diferencias entre los grupos:

Algunos de los agricultores de origen europeo que cultivan al aire libre, venden parte de sus productos directamente a los consumidores, y aclararon que ese público busca el sabor. Además, los clientes reconocen que la verdura rinde más.

Los agricultores de origen boliviano que cultivan al aire libre, venden parte de su mercadería en la quinta a consumidores interesados por una alimentación más sana y se mostraron esperanzados en relación con el futuro de la agricultura de baja utilización de insumos, o de la agricultura orgánica. El resto, la envían al mercado concentrador pero tienen muchos problemas para ubicarla.

Según como lo expresó un agricultor de origen boliviano, que cultiva al aire libre: *"Una vez llevé una jaula de acelga, este es orgánico, llévate, le decía yo que es orgánico, no tiene nada de químico, ah, yo no conozco de eso, dame de aquel (...) en el mercado no lo ven (...) si yo tengo una verdulería tengo que tener cosas buenas, brillosas, tenga el químico que tenga (...) si va fea no lo voy a vender."*

Los agricultores de origen europeo que cultivan bajo invernáculo realizan venta directa con supermercados y/o venden en los mercados concentradores. Afirmaron que para obtener un buen precio, la mercadería debe adecuarse a los parámetros de calidad establecidos. También resaltaron que trabajan generando marcas, que hay que imponerlas y que la estrategia es que los compradores demanden la mercadería para poder negociar el precio.

La mayoría de los agricultores de origen boliviano con invernáculos, vende su mercadería a "culata de camión" desde su quinta, y aclararon sobre la necesidad de utilizar pesticidas para que los productos tengan mejor color, brillo y tamaño, de lo contrario tendrían que venderlos más baratos.

Asesoramiento técnico

Los agricultores europeos que cultivan al aire libre resuelven sus dudas en las casas de venta de agroquímicos en situaciones muy puntuales. Resaltaron la gran presión que estas ejercen en la construcción de invernáculos, junto con otras empresas e ingenieros agrónomos. Además, afirmaron que actualmente no se fomenta el cultivo al aire libre.

Según como lo expresó un agricultor de origen europeo, que cultiva al aire libre: *"(hablando de pesticidas) en las agroquímicas (...) se vende así, como si fuera, que se yo, caramelo, mucha gente (...) si tiene un problema va al vendedor, le dice tomá, echale esto y punto (...) en las agroquímicas favorecen el comercio, ese de hacer invernaderos, porque es más consumidor de insumos que el campo (...) es una horticultura plastificada (...) hay una gran presión de empresas, los ingenieros que se enganchan (...) no tenés la otra cara, de fomentar el aire libre (...) está todo muy fogueado."*

Agregaron que actualmente tanto los puesteros de los mercados como algunas empresas de venta de insumos para armar invernáculos, ofrecen préstamos informales para aquellos agricultores que quieran instalar invernáculos.

Los agricultores de origen boliviano al aire libre, coincidieron en que la casa de venta de agroquímicos ayuda y asesora bien, porque los que trabajan son ingenieros, ofreciendo varios tipos de productos, de acuerdo con la disponibilidad económica de cada agricultor.

Aunque algunos agricultores remarcaron que los vendedores de insumos también "hacen su negocio", intentando vender varios productos que a veces no son tan necesarios.

Todos los agricultores de origen europeo que cultivan bajo invernáculos afirmaron que el papel del ingeniero es muy importante, principalmente en lo que se refiere a pesticidas y fertilizantes; ya que, frecuentemente, es preciso cambiar de pesticidas para que las plagas no se acostumbren. Coincidieron en que es necesario contar con un técnico para "hacer las cosas bien" y lograr sus objetivos, principalmente más rendimiento por hectárea. Demostraron tener amplia confianza en el técnico.

Según como lo expresó un agricultor de origen europeo, que cultiva bajo invernáculo: *"Con bastante frecuencia consultamos, cuando vinieron los invernaderos tuvimos que entrar a la parte práctica con la parte del ingeniero (...) para hacer las cosas bien y buscar más rendimiento por hectárea (...) se apunta fuerte a eso"*.

Los agricultores de origen boliviano con invernáculos afirmaron que consultan en las agroquímicas con mucha frecuencia, porque son atendidas por ingenieros y tienen mucho conocimiento en lo que respecta a nuevos productos, dosis, periodos de curación, entre otros, y afirmaron que siempre escuchan sus consejos.

Según como lo expresó un agricultor de origen boliviano, que cultiva bajo invernáculo: *"(consulta) cuando uno se encuentra más complicado, porque por ahí estás curando y no le estás dando en la tecla, curás y ves que no paró la enfermedad o la peste"*.

Políticas

Los agricultores no reconocieron políticas de apoyo al sector. Solo los agri-

cultores de origen boliviano que cultivan al aire libre, hace unos años, recibieron apoyo de un técnico del Estado para cultivar sin el uso de pesticidas. Además, han tomado algunos subsidios estatales y microcréditos que invirtieron en mejoras productivas y comerciales fomentando manejos más sustentables.

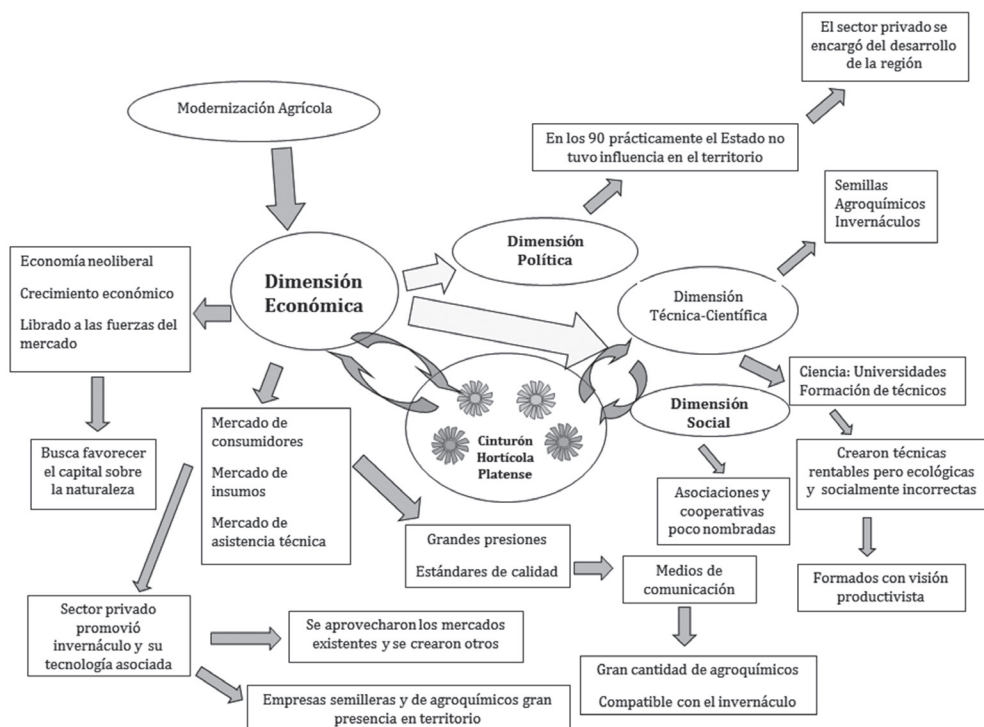
DISCUSIÓN

En el Cinturón Hortícola Platense conviven diversas territorialidades, representadas por los grupos de agricultores entrevistados, que son el resultado del impacto de la modernización tecnológica.

Tal como lo afirma Bourdieu (1991), la estructura, el tiempo y el espacio condicionan las decisiones de los agricultores, y ello se puede notar en el análisis de cómo los factores contextuales influyeron en la adopción de una tecnología (la del invernáculo) menos sustentable a pesar del interés supuesto de ir hacia otro modelo. En este sentido, la dimensión económica fue la que más influyó, representada por los diversos mercados creados en torno a la actividad hortícola (figura 1, pág. 211).

Tanto el mercado de los insumos (agroquímicos, semillas, plásticos, entre otros) como los mercados de consumo, estuvieron constantemente presentes en los relatos de los agricultores, demostrando su gran influencia.

En la economía neoliberal, el crecimiento económico queda librado a las fuerzas del mercado, quien busca favorecer el capital por sobre la sociedad y la naturaleza (34). Esto se debe a que predomina una visión antropocéntrica donde la naturaleza está al servicio del hombre y es vista como una fuente inagotable de recursos (34).



Los círculos alrededor del Cinturón Hortícola Platense simbolizan las dimensiones contextuales, donde su tamaño indica la importancia relativa en el proceso de modernización. Las flechas curvas indican la interacción entre el territorio y las dimensiones contextuales, y las rectas, expresan la interacción entre ellas.

Circles around the Horticultural Platense Region symbolize the contextual dimensions, where its size indicates the relative importance in the modernization process. The curved arrows indicate the interaction between the territory and the contextual dimensions, and straight express the interaction between them.

Figura 1. Los molinos representan las diferentes territorialidades que se formaron a partir de la llegada del invernáculo y su paquete tecnológico.

Figure 1. The mills represent different territorialities that formed from the arrival of the greenhouse and its technological package.

Por otra parte, los costos ocultos o externalidades no son tenidos en cuenta al no tener un precio de referencia. Por ello se prioriza la ganancia sobre los daños ecológicos y sociales. Desde la década del 90 en el CHP el sector privado promovió el invernáculo y todo un paquete tecnológico asociado. Fue así que se fueron creando varios mercados (aprovechando los

mercados existentes y creando mercados principalmente relacionados con los insumos del invernáculo) para reproducir esa forma de agricultura industrial.

Según Seibane *et al.* (2014) las empresas que producen las semillas y los agroquímicos cuentan con una gran presencia en el territorio, organizando ensayos a nivel local y demostraciones para difundir sus productos.

La adopción de una tecnología insumo dependiente se ve favorecida, además, porque, tanto los puesteros de los mercados como algunas empresas de venta de insumos para armar invernáculos, ofrecen préstamos "informales" para aquellos agricultores que quieran instalar invernáculos, tal como lo afirmaron los agricultores entrevistados en este trabajo y en concordancia con Cieza (2012), quien agrega, que estos préstamos tienen altas tasas de interés.

Se encontró que los mercados concentradores y los consignatarios influyen con distinta intensidad según el tipo de agricultor. Ejercen una mayor influencia en los agricultores que cultivan bajo invernáculo, porque son la principal vía de comercialización (hegemónica), y tienen una menor influencia en algunos agricultores/as que cultivan al aire libre, porque estos, además de vender en los grandes mercados participan en ferias o tienen venta directa desde sus quintas.

Es importante resaltar que esta modalidad de venta es solo un nicho comercial, para satisfacer a una pequeña parte de los consumidores.

Muchas veces, para el presente trabajo, los agricultores señalaron las grandes presiones que los intermediarios de la comercialización ejercen para que logren obtener un producto según los "estándares de calidad", que son, principalmente, el color y tamaño homogéneo, sin marca ni mancha de ningún tipo, ya que todo es excusa para disminuir el precio. Estas características también son incentivadas por los medios de comunicación al utilizar "la belleza cosmética" de las verduras en sus propagandas. Sin embargo, tal como lo afirman Marasas *et al.* (2014), para obtener ese tipo de producto se debe utilizar una gran cantidad de pesticidas, actividad compatible con la producción bajo invernáculo.

Los resultados presentados en este trabajo confirman que, en ausencia de otros factores, el mayor peso de la dimensión económica subordinó las otras dimensiones favoreciendo una elección económicamente rentable pero insustentable en otras dimensiones.

La dimensión técnico-científica fue también afectada por la prevalencia del factor económico, induciendo a la propia ciencia a generar técnicas rentables pero ecológica y socialmente incorrectas (6, 38) (figura 1, pág. 211). Esto se debe a que tradicionalmente los profesionales de las Ciencias Agrarias han sido formados de acuerdo con un modelo agrícola productivista, basado en una intensa mecanización agrícola, un uso creciente de agroquímicos y variedades mejoradas de cultivos (36). Por lo tanto, no es de extrañar que reproduzcan, en la investigación y extensión, el mismo estilo de agricultura con el que fueron formados.

Según los agricultores entrevistados, los ingenieros que los asesoran y/o los que trabajan en las casas de insumos tienen mucho conocimiento sobre la actividad y son muy respetados, principalmente en lo que se refiere a pesticidas y fertilizantes. Este avance tecnológico ha generado un alejamiento del agricultor respecto de su sistema productivo, haciendo que dependa menos de su conocimiento y más de las tecnologías de insumos produciendo un quiebre en la relación entre la cultura y el manejo de los recursos, generando una erosión cultural y una gran dependencia (45).

Específicamente, se pueden enumerar varias dependencias, en relación con: semillas, fertilizantes, pesticidas, invernáculos, conocimiento técnico-científico, traduciéndose en una mayor subordinación al mercado (34).

En este trabajo se confirmó que las casas de venta de agroquímicos ejercen una gran influencia sobre los agricultores, ya que se encuentran en permanente contacto con ellos, brindándoles información técnica continua y los insumos necesarios. Este vínculo es particularmente fuerte con los agricultores bolivianos con invernáculo ya que no consiguen pagar un asesor privado. Se pudo percibir, además, un "mercado del asesoramiento técnico", donde el técnico (asesor privado) cumple un papel fundamental para los agricultores que cultivan bajo invernáculo de origen europeo.

En concordancia con Selis (2012), se encontró que los técnicos también promueven la incorporación del invernáculo con especial énfasis en el rendimiento, aspecto que ya ha sido señalado como una de las características del modelo productivista y una de las principales dificultades para avanzar hacia modelos más sustentables (36). Estos datos confirman la necesidad de un cambio en este sentido. Los relatos de los agricultores confirman lo dicho por García (2014), quien afirma que con la complejización del cultivo bajo invernáculo, el técnico resultó un "insumo" más del paquete tecnológico.

Los relatos de los agricultores, en general, coinciden con lo encontrado por Seibane *et al.* (2014), en relación con que el sector privado promueve la incorporación del invernáculo junto con su paquete tecnológico.

La dimensión política también quedó subordinada a los intereses económicos, porque durante la década del 90 el Estado prácticamente no tuvo injerencia sobre el territorio, dejando que el sector privado se ocupara del "desarrollo" de la región (figura 1, pág. 211). Este hecho se confirma en las entrevistas realizadas, ya que los agricultores no hicieron referencia al Estado y no reconocieron políticas de apoyo al sector.

En la figura 1 (pág. 211) se lleva a cabo una representación gráfica de la situación analizada, sobre la base de Marasas *et al.* (2014).

En los últimos años, algunas dimensiones han comenzado a influenciar la adopción de modelos más sustentables. Desde la dimensión política, el Estado empezó a tener presencia en el territorio. Entre sus estrategias de desarrollo se destacan el programa de extensión rural llamado Cambio Rural, perteneciente al INTA, que si bien fue creado en la década del 90 con un rol técnico, a partir de la última década incorporó aspectos sociales y organizativos. Las articulaciones entre el Ministerio de Agricultura de la Nación y el Municipio de La Plata a través del programa del periurbano; y el Ministerio de Asuntos agrarios de la Provincia de Buenos Aires y el SENASA con charlas sobre buenas prácticas agrícolas (40).

Es importante destacar el gran papel que cumple el Estado a la hora de implementar políticas para crear condiciones económicas, fiscales (como reducción de impuestos u otorgar subsidios) y de mercado que favorecen el avance hacia sistemas de producción sustentables (30). En ese sentido, algunos agricultores reconocieron que en los últimos años, con el apoyo de algunas instituciones públicas, se lograron formar cooperativas y grupos de agricultores.

Desde la dimensión científico-académica, se está comenzando a reconocer que la incorporación de la problemática del manejo sustentable de agroecosistemas, implica un nuevo paradigma, una nueva concepción de la relación del hombre con la naturaleza, donde se permita cambiar el objetivo productivista y cortoplacista por uno sustentable a largo plazo: ecológicamente adecuado, económicamente viable y socialmente más justo (38). Prueba de ello es la incorporación de la materia

Agroecología en las currículas académicas de varias Universidades.

Actualmente la incorporación del invernáculo continúa en pleno crecimiento en el territorio (19). Se reconoce que el vínculo entre el sector privado, a través de las casa de venta de agroquímicos, y los agricultores todavía es muy fuerte. Fueron décadas ('80 y '90) de exclusiva relación donde el "desarrollo de la región" se dejó en manos del mercado, donde se superpusieron sus intereses sobre la naturaleza y la sociedad. Sin embargo, a partir del 2002, se visualiza un Estado que, en sus diversas formas, está retomando su presencia y puede jugar un papel decisivo en un real "desarrollo" sustentable, dando contención a aquellos agricultores que por diversas razones no han adoptado la tecnología. Además, y no menos importante, sería interesante identificar y profundizar las razones "internas" de estos agricultores/as que han podido resistir a las presiones del contexto.

CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo demuestran cómo los factores contextuales pueden ejercer grandes presiones para que los agricultores opten por incorporar innovaciones tecnológicas no sustentables. Se considera que para revertir esta situación y avanzar hacia sistemas más sustentables es necesario cambiar la visión de algunos agricultores, de ámbitos científicos-académicos, de los mercados y principalmente del Estado, ya que puede propiciar las condiciones para que ello suceda. Por último, y no menos importante, se encuentra la sociedad, quien debería tomar conciencia que la producción de los alimentos es un proceso complejo y asumir la responsabilidad de exigir alimentos que se cultiven preservando la calidad de vida y el equilibrio del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade, F. 2011. La tecnología y la producción agrícola. El pasado y los actuales desafíos. Balcarce, Ediciones INTA. 42 p.
2. Bédard, L. 2015. El ecologismo de la cosmovisión andina. Tinkuy boletín de Investigación y Debate. 22: 116-125.
3. Benencia, R. 2002. Transformaciones territoriales en la horticultura periurbana bonaerense en los últimos 50 años. El papel de la tecnología y la mano de obra. En: XIII Economic History Congress. Buenos Aires, Disponible en: <http://eh.net/XIIICongress/cd/papers/52Benencia447.pdf>
4. Blandi, M. L. 2016. Tecnología del invernáculo en el Cinturón Hortícola Platense: análisis de la sustentabilidad y los factores que condicionan su adopción por parte de los productores. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. 303 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/52015>.
5. Blandi, M. L.; Paleologos M. F.; Sarandón, S. J.; Veiga, I. 2013. Identificación de impedimentos para avanzar hacia una "conducta sustentable" en pequeños horticultores de La Plata, Argentina. Revista Cuadernos de Agroecología. 8(2). 5 p.
6. Blandi, M. L., Sarandón S. J.; Flores C. C.; Veiga, I. 2015. Evaluación de la sustentabilidad de la incorporación del cultivo bajo cubierta en la horticultura platense. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata. 114(2): 251-264.
7. Bourdieu, P. 1991. El sentido práctico. Madrid: Taurus. 227p.
8. Bourdieu, P. 1988. Espacio social y poder simbólico, en: Cosas Dichas, Buenos Aires, Gedisa. 127-142.

9. Caporal, F. R. 2009. Em defesa de um plano nacional de transição agroecológica: Compromisso com as atuais e nosso legado para as futuras gerações. Brasília. 35 p.
10. Censo Hortiflorícola de la Provincia de Buenos Aires. 2005. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Economía, Dirección Provincial de Estadística. Ministerio de asuntos Agrarios, Dirección Provincial de Economía Rural. 115 p.
11. Cieza, R. 2012. Financiamiento y comercialización de la agricultura familiar en el Gran La Plata. Estudio en el marco de un proyecto de desarrollo territorial. *Mundo Agrario*. 12(24): 18 p.
12. Cieza, R. I.; Ferraris, G.; Seibane, C.; Larrañaga, G.; Mendicino, L. 2015. Aportes a la caracterización de la agricultura familiar en el Partido de La Plata. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. 114(3): 129-142.
13. Corcuff, P. 2001. As Novas Sociologias: construções da realidade social. São Paulo: Edusc. 205 p.
14. Darnhofer, I.; Schneeberger, W.; Freyer, B. 2005. Converting or not converting to organic farming in Austria: farmer types and their rationale. *Agriculture and Human Values*. 22: 39-52.
15. Durán, A.; Paris, M.; Maitre, M. I. Marino, F. 2016. Diagnóstico ambiental en la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina*. 48(1): 129-143.
16. Eisenhardt, K.M. 1989. Building theories from case study research. *Academy of Management Review*. 14(4): 532-550.
17. EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2006. Marco referencial em Agroecología. Grupo de trabajo em agroecología. Brasília. 74 p. Disponible en: www.embrapa.br/publicacoes/transferecia/marco_ref.pdf/view
18. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura). 2007. El medio ambiente y la agricultura. Comité de Agricultura. 16 p. Disponible en: www.fao.org.
19. Garcia, M. 2011. Proceso de acumulación de capital en campesinos. El caso de los horticultores bolivianos de Buenos Aires (Argentina). *Cuadernos de desarrollo rural*. 8(66): 47-70.
20. García, M. 2014. Crítica al enfoque clásico de innovación tecnológica: Estudio de caso del invernáculo en el Cinturón Hortícola Platense. *Geograficando*. 10 (1). Disponible en: <http://www.geograficando.fahce.unlp.edu.ar/article/view/GE0v10n02a01>. Último acceso: 15 de marzo de 2015.
21. Garcia, M., Hang, G. 2007. Impacto de la devaluación de principios de 2002 en el Cinturón Hortícola Platense. Estrategias tecnológicas adoptadas, sus resultados y consecuencias. *Mundo agrario*. 8(15).
22. Garrido-Fernandez, F. E. 2006. Los agricultores como actores de la política agroambiental. Un enfoque multidimensional. *Revista de Sociología*. 81: 37-62.
23. Gonzales Figueroa, R.; Gerritsen, P.R.W.; Maliscke, T.K. 2007. Percepciones sobre la degradación ambiental de agricultores orgánicos y convencionales en el Ejido la ciénega, municipio del Limón, Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*. 7(25): 215-239.
24. Guillou, E. M.; Moser, G. 2006. Commitment of farmers to environmental protection: From social pressure to environmental conscience. *Journal of Environmental Psychology*. 26(3): 227-235.
25. Guzmán Casado, G. I.; Alonso Mielgo, A. M. 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*. 16(1): 24-36.
26. Hang, G.; Seibane, C.; Larrañaga, G.; Kebat, C.; Bravo, M. L.; Ferraris, G.; Otaño, M.; Blanco, V. 2007. Comercialización y consumo de tomate en La Plata, Argentina. Un enfoque mediante el análisis de la cadena agroalimentaria. *Bioagro*. 19(2): 99-107.
27. Hang, G.; Kebat, C.; Bravo, M. L.; Larrañaga, G.; Seibane, C.; Ferraris, G.; Blanco, V. 2010. Identificación de sistemas de producción hortícola en el partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Bioagro*. 22(1): 81-86.
28. Huberman, A. M.; Miles, M. B. 1994. Data management and analysis methods. En Denzin NK & YS Lincon. *Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks, CA: Sage. 428-444.
29. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) (2005) Programa Nacional de investigación y desarrollo tecnológico para la pequeña agricultura familiar. Documento base.

30. Marasas, M.; Blandi, M. L.; Dubrovsky Berensztein, N.; Fernandez, V. 2014. Transición agroecológica de sistemas convencionales de producción a sistemas de base ecológica. Características, criterios y estrategias. En: Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. SJ Sarandón & CC Flores editores. La Plata. Editorial de la Universidad de La Plata. Capítulo 15: 411-436.
31. Marradi, A.; Archentti, N.; Piovani, J. 2007. Metodología de las Ciencias Sociales. Buenos Aires. Emecé. 328 p.
32. Minayo, M. C. 2012. Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. *Ciência & Saúde Coletiva*. 17(3): 621-626.
33. Piazza Recena, M. C.; Caldas, E. D. 2008. Percepção de risco, atitude e práticas no uso de agrotóxicos entre agricultores de Culturama. MS. *Revista Saúde Pública* 42(2): 294-301.
34. Porto Goncalves, C. W. 2006. El desafío ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. México. 153 p.
35. Porto Goncalves, C. W. 2012. A ecologia política na América latina: reapropiação social da natureza e reinvenção dos territórios. *INTERthesis*. 9(1): 16-50.
36. Pretty, J. 2003. Agroecology in developing countries: the promise of a sustainable harvest. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 45(9): 8-20. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/00139150309604567>.
37. Rogers, E. 1962 *Diffusion of innovations*. Nueva York: The Free Press. 4^o edición. 51 p.
38. Sarandón, S. J. 2008. La agroecología en la formación de profesionales de la agronomía: una necesidad para una agricultura sustentable. VIII Congreso SEAE, Bullas, Murcia 6pp.
39. Sarandón, S. J.; Flores, C. C.; Gargoloff, N. A.; Blandi, M. L. 2014. Análisis y evaluación de agroecosistemas: construcción y aplicación de indicadores. En: Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Editores: Sarandón, Santiago Javier y Flores, Claudia Cecilia. 375-410 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/37280>
40. Seibane, C. S.; Larrañaga, G.; Kebat, C.; Hang, G.; Ferraris, G.; Bravo, M.L. 2014. Redes para la promoción del desarrollo territorial en el cinturón hortícola platense. *Reflexiones y aportes*. *Mundo Agrario*. 15(29).
41. Selis, D. 2012. Análisis de la institucionalidad asociada a los procesos de innovación tecnológica en el sector hortícola del Gran La Plata. *Mundo Agrario*. 12(24): 25 p.
42. Silva Carvalho, M. L. 2006. As politicas ambientais e os objetivos dos agricultores: o caso dos agricultores do sul de Portugal. XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia e Rural *Questões Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento*. Livro de Resumos. Disponible en: <http://www.sober.org.br/palestra/5/1216.pdf>
43. Staviski, A. 2010. Situación de la plasticultura en Argentina. Informe frutihortícola. Abril. Disponible en: http://www.infofrut.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=1069:plasticultura-en-la-argentina&catid=92:sanidad. Último acceso: 20 de febrero de 2016
44. Tito, G.; Chifarelli, D. 2007. La transición agroecológica de los productores familiares del Parque Pereyra Iraola. *Revista brasileira de Agroecologia*. 1(2): 156-159.
45. Toledo, V. M. 2005. La memoria tradicional: la importancia agroecológica de los saberes locales. *LEISA Revista de Agroecología*. 20-4: 16-19.
46. Waisman, M. A. 2011. Superando dualismos: trayectorias socio-productivas en el abordaje de las transformaciones en la estructura social hortícola platense. *Mundo agrario*. 12(23).

AGRADECIMIENTOS

A los agricultores que dedicaron su valioso tiempo para participar del trabajo.

Change of collembolan (Hexapoda: Collembola) community structure related to anthropic soil disturbance

Cambio de la estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en relación con el disturbio antrópico de los suelos

Rosana V. Sandler¹, Liliana B. Falco¹, César A. Di Ciocco¹, Ricardo Castro Huerta^{1,2}, Carlos E. Coviella¹

Originales: *Recepción: 02/06/2016 - Aceptación: 27/04/2017*

ABSTRACT

In order to evaluate the effects of the anthropic impact on the structure of de soil collembolan community, three different soil uses were researched: agricultural fields (AG) with 50 years of continuous farming, pastures entering the agricultural cycle (CG), and naturalized grasslands (NG). The study was carried out in fields of Chivilcoy (34°53'49 S, 60°01'09 W, elev. 60 m) and Navarro (34°51'30 S, 59°12'25 W, elev. 43 m), Buenos Aires Province, Argentina. For each of the three uses, three fields were selected as replicates, with three soil samples per replicate and sample date (10) for a total of 216 samples analyzed. Collembolans (Hexapoda: Collembola) were extracted and identified to family level. Five families were found: Hypogastruridae, Onychiuridae, Isotomidae, Entomobryidae, and Katiannidae. Soils were also characterized by means of physical and chemical analyses. The index of degree of change of collembolan diversity was calculated with the biological data. The results show that the biological index of degree of change can detect soil use effects on the collembolan community. Somewhat surprisingly, the index showed that the diversity of collembolans was higher in the high anthropic impact site AG, followed by CG and lowest in NG. The results also show that collembolan families respond differently to soil use. The families Hypogastruridae, Onychiuridae, and Isotomidae presented differences between systems. Therefore, collembolan community structure can be a useful tool to assess agricultural practices' impacts on soil.

Keywords

soil use intensity • collembolans • anthropic impact

-
- 1 Universidad Nacional de Luján. Departamento de Ciencias Básicas e Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable. Programa de Ecología Terrestre. Av. Constitución y Ruta 5 (6700). Luján. Buenos Aires. Argentina. carlosecoviella@yahoo.com
 - 2 Escuela de Agronomía. Universidad Católica del Maule. Campus San Isidro. Los Niches. Chile.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto que produce el impacto antrópico sobre la estructura de la comunidad de colémbolos, tres usos diferentes del suelo fueron investigados: campos de agricultura (AG) con 50 años de agricultura continua, pasturas ingresando al ciclo agrícola (CG) y campos naturalizados (NG). El estudio fue llevado a cabo en campos de los partidos de Chivilcoy (34°53'49 S, 60°01'09 W, elev. 60 m) y Navarro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Para cada uno de los tres usos del suelo, tres campos fueron seleccionados como réplicas. Cada muestreo consistió en tres muestras de suelo por réplica y por fecha de muestreo (10) para un total de 216 muestras recolectadas y analizadas. Los colémbolos fueron extraídos de las muestras e identificados a nivel de familia. Se identificaron cinco familias: Hypogastruridae, Onychiuridae, Isotomidae, Entomobryidae y Katiannidae. Los suelos fueron además caracterizados mediante análisis físicos y químicos. Con los datos biológicos se calculó el índice de grado de cambio de la diversidad de colémbolos. Los resultados muestran que el índice biológico del grado de cambio puede detectar los efectos del uso del suelo sobre la comunidad de colémbolos. Sorpresivamente, el índice muestra que la diversidad de colémbolos medida a través del índice de grado de cambio es más alta en los sitios de mayor impacto antrópico (AG), seguido de CG y la menor diversidad en el sitio de menor impacto (NG). Los resultados muestran además que las familias de colémbolos responden de manera diferente al uso del suelo. Las familias Hypogastruridae, Onychiuridae e Isotomidae presentaron diferencias entre los usos. En consecuencia, la estructura de la comunidad de colémbolos puede ser una herramienta útil para evaluar el impacto en el suelo de las prácticas agrícolas.

Palabras clave

intensidad de uso del suelo • colémbolos • impacto antrópico

INTRODUCTION

It is increasingly recognized that community structure and composition may be used as ecological state indicators (11, 14, 18), and the use of biological information to assess ecological quality is currently an active field of research.

While several tools have been already adopted for the use of invertebrate community composition and structure as ecological state indicators in freshwater ecology in both Europe (20, 44, 52), and in the US (2, 3), the development of these tools is lagging behind for terrestrial ecosystems.

Several authors have proposed new methods to evaluate soil quality, based on

invertebrate assemblages, particularly the arthropods (1, 8).

Some of these methods are based on the information provided by only one taxon (28), while others are based on a general evaluation of the presence and abundance of the soil arthropods (6, 11, 48, 53). Even though diversity is a characteristic that can be used to differentiate ecosystem structure, another important characteristic of a system is the fluctuation in the abundance of its components (13).

Soil invertebrates play a very significant role in the different processes that occur in the soil, influencing its formation, nutrient

cycles, organic matter decomposition, porosity, aggregates' formation, and water retention capacity. Soil structure, can also be related to the edaphic biota, because they increase soil specific surface, which is in turn well correlated to water retention capacity (45). Earthworms in particular, contribute not only to soil structure but also to soil physical stability (22). In addition, each component of the edaphic communities has a specific role in its specific niche that can hardly be replaced by others present in the system (32).

Furthermore, soil invertebrate community composition and structure are strongly influenced by soil characteristics and thus, are useful for the development of tools for soil quality assessment (4, 17) and soil sustainability (48, 53).

The diverse ecosystem services that the edaphic fauna provide play a crucial role on soil sustainability, and it can have both direct and indirect impacts on soil sustainability. Direct impacts are those where specific organisms affect crop yield immediately. Indirect ones include those provided by soil organisms participating in carbon and nutrient cycles, soil structure modification, and food web interactions that generate ecosystem services that ultimately affect productivity.

Agriculture has been identified as one of the greatest contributors to the loss of biodiversity due to the large amount of land allocated to this practice. Agricultural activities such as tillage, drainage, crop rotation, grazing, and the intensive use of pesticides and fertilizers, have all strong effects on the flora and fauna species found in the soil (42). However, reduced or no-tillage systems can be useful in terms of maintaining native species populations (35).

Collembolans (Hexapoda: Collembola) are one of the most abundant and varied groups among soil organisms, playing a very significant role in nutrient cycling

and soil microstructure (46). They also respond to a variety of environmental and ecological factors, such as changes in soil chemistry, microhabitat configuration, and forestry and agricultural practices (29). Is in this context that the use of collembolans as indicators of ecological state has been recommended by several authors (2, 53).

The response of the Collembola community to changes in the agricultural practices is wide ranging, but in general the agricultural soils are expected to have low species richness, including the disappearance of key functional groups (50). In this way, the reduction in biodiversity is usually associated with an increase of management intensity and a general reduction in the environmental heterogeneity (21). The index of degree of change developed by Cancela Da Fonseca and Sarkar (1996), integrates abundance analysis, richness and diversity in a way that provides an analysis of the structure of the community, and allows for comparisons between different communities.

This study was performed in the rolling pampas in the Argentine pampean ecoregion (54), one of the most extensive and productive agricultural regions in the world. Since the mid 1970s, this region has suffered an increase in agriculture intensification, characterized by the incorporation of new technology, increased production and changing the use of a large number of hectares from cattle grazing to agriculture (54).

In this context, the objective of this work was to evaluate the degree of change in the structure of the soil collembolan community as an indicator of the degree of anthropic impact, under the hypothesis that the anthropic impact of different agricultural practices affects the structure of the collembolan community lowering diversity and structure when compared to naturalized grasslands.

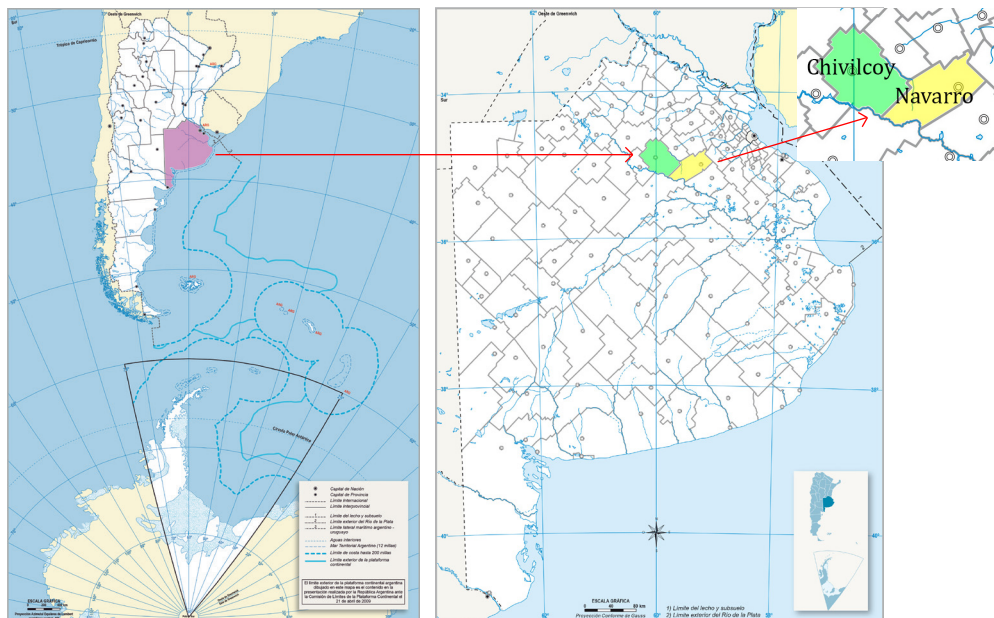
MATERIAL AND METHODS

The study was carried out in fields of Chivilcoy (34°53'49 S, 60°01'09 W, 60 m a. s. l.) and Navarro (34°51'30 S, 59°12'25 W, 43 m a. s. l.), Buenos Aires Province, Argentina (figure 1). The soils of the sampling sites were all typical Argiudols, order Mollisols (52).

Three different management systems were evaluated: 1) A naturalized grassland system (NG), old and abandoned grasslands without anthropic influence for at least 50 years; 2) A cattle grazing system (CG), fields with mixed history of agriculture and livestock; and 3) An agricultural system (AG), fields under constant intensive agriculture for 50 years and under no-tillage agriculture during the last 16 years prior to the start of this work.

For each management system, 3 different sites were selected as replicates

and in each replicate 3 random samples were taken each one of the eight sampling dates. Samplings were performed every three months over a 2 year period, in order to maximize the collembolan abundance and diversity of the samplings. Therefore, a total of 216 samples were collected and analyzed. This sample size is similar to the number of samples collected in similar studies in Argentina (7, 26, 28). Samples for the extraction of the collembolans were taken from the first 0 to 5 cm of soil, following Bardgett *et al.* (1993), and Hutson and Veitch (1983) who found that in a range of upland grassland soils, 92 to 98% of Acari and collembolans were extracted from the upper 0 to 2 cm soil. From these top 5 centimetres, a pooled 150 cm³ of an undisturbed sample was collected per random sample.



Source: National Geographic Institute / Fuente: Instituto Geográfico Nacional - República Argentina

Figure 1. Map showing the location of the sampling sites.

Figura 1. Mapa con la localización de los sitios de muestreo.

Upon arrival to the laboratory, collembolans were extracted from the soil by flotation, since this method was more efficient for Collembola extraction than the Berlesse system (47) and later classified to family level (36).

With the data obtained, the index of the degree of change in the biodiversity, proposed by Cancela da Fonseca and Sarkar (1996) was calculated for each soil use, following Cortet *et al.* (2002), and Mazzoncini *et al.* (2010).

In order to characterize the studied soils, physical (bulk density, electric conductivity, and mechanical resistance), and chemical variables (organic matter content, phosphorus content, total nitrogen, and pH) were analyzed from samples taken at the same moment and from the same sampling places as the collembolans. Microbiological variables (soil respiration and nitrogen fixing bacteria activity) were measured as well.

Statistical analysis

Physical and chemical characterization

With the physical and chemical variables, a discriminant analysis was performed to determine how these variables characterize the different environments.

Index of degree of change of the diversity of ecological systems

For the calculation of the degree of change of the diversity (Δ) between sites, this formula was used following Cancela da Fonseca and Sarkar (1996), and Cortet *et al.* (2002):

$$\Delta = [V(\bar{x}) + V(S) + V(n) + V(Hx) + V(Hy)] \bar{x}$$

where:

\bar{x} = mean abundance of the taxonomic group

S = number of taxonomic groups

n = number of sample-units

Hx= group index of diversity (γ)

Hy= Shannon index of diversity

For parameters S, n, Hx, and Hy, the variation (V) for any parameter (m) is calculated as:

$$Vm: (Em-Cm)/(Em+Cm)$$

where:

m = parameters \bar{x} , S, n, Hx, or Hy

Cm= value of parameter m of the system taken as a reference or control

Em= value of parameter m of the system to compare to

The index ranges from -1 to +1, being -1 when the evaluated environment shows lower diversity than the one it is compared to, and +1 when it is higher (15).

The behavior of this index was evaluated by its authors as well as Cortet *et al.* (2002) for taxonomic resolutions to order and higher. For this reason it was considered important to go a step further in this work, and use this index to collembolans and the families within, in the assumption that a lower taxonomic level could provide a better detail of the effects of anthropic activities on soil communities.

Abundance

A Kruskal-Wallis test was carried out for the abundance of each one of the collembolan families present between environments.

RESULTS

Physico-chemical characterization

Data on the physico-chemical variables measured are shown in table 1 (page 222). The discriminant analysis (figure 2, page 223) shows a clear separation between the two anthropized systems (CG and AG) and the natural environment (NG), given by a higher electric conductivity (EC), pH, mechanic resistance (MR), bulk density (BD), and microbiological acetylene reduction activity (ARA) in NG.

Table 1. Physical, chemical, and microbiological variables.**Tabla 1.** Variables físicas, químicas y microbiológicas.

Parameter	Method	Sites		
		NG	CG	AG
P (ppm)	Kurtz y Bray	11 +/- 8.5 ac	15 +/- 12 b	14 +/- 12 bc
OM (%)	Walkey-Black	4 +/- 1.5 a	4 +/- 1.5 a	4 +/- 1.4 a
CE (dS/m)	Conductivimeter	1.5 +/- 1.3 a	0.8 +/- 0.5 b	0.7 +/- 0.5 c
Ph		7.5 +/- 1 a	6 +/- 0.6 b	6 +/- 0.5 b
Bulk density (gr/cm ³)	Porta	1.2 +/- 0.2 a	1.1 +/- 0.1 b	1.2 +/- 0.1 a
Hr (%)	calculation	0.2 +/- 0.1 a	0.3 +/- 0.1 b	0.2 +/- 0.1 a
N (%)	Kjeldahl	0.28 +/- 0.1 a	0.32 +/- 0.1 b	0.29 +/- 0.05 b
Nitrogenase activity (nanolitres of ethylene/g dry soil*incubation hour)	ARA	0.3 +/- 0.3 a	0.2 +/- 0.2 b	0.2 +/- 0.3 b
Respiration (mg de CO ² produced/g dry soil per day)	Incubation in alkaline	0.09 +/- 0.06 a	0.07 +/- 0.05 b	0.05 +/- 0.05 c
MR 0-5 (Kg/cm ²)	Cone	10 +/- 6 a	2.5 +/- 3 b	5.5 +/- 4 c
MR 5=10 (Kg/cm ²)	Cone	13 +/- 7 a	5 +/- 5 b	8 +/- 5 c

Mean values and standard deviation of the different systems shown. NG: Naturalized grassland, CG: Cattle grazing, AG: Agricultural system. Values in the same row followed by the same letter are not significantly different from each other (Kruskal-Wallis $p < 0.05$).

Se muestran valores de las medias y desviación estándar de los diferentes sistemas. NG: pastizal naturalizado, CG: sistema mixto, AG: sistema agrícola. Los valores con las mismas letras no presentan diferencias significativas unos de otros (Kruskal-Wallis $p < 0,05$).

Between the two anthropogenic systems, the AG system presented higher phosphorus, humidity, and organic matter values, while the CG system presented higher nitrogen values. This analysis shows that Root 1 clearly separates the natural environment (NG) from the two anthropized environments.

Index of degree of change of the diversity between systems

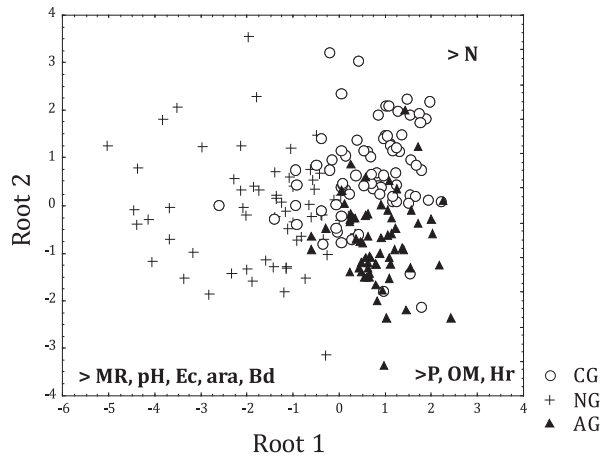
This procedure calls for the calculation to be made between the three soil uses by pairing them, thus obtaining three indexes of degree of change, according to the methodology proposed by Cortet *et al.* (2002).

The results of this analysis show that the index of degree of change between the

NG and the CG environments is positive, which indicates that the biodiversity of soil collembolans community as measured by this index is higher in the CG environment (table 2a, page 223).

The index of degree of change between the CG and AG environments is also positive, which indicates that the biodiversity of soil collembolans community measured by this index is higher in the agricultural environment (table 2b, page 224).

Lastly, the index of degree of change between the grassland and agricultural environments is positive as well, which indicates that the biodiversity of soil collembolans community measured by this index is higher in the agricultural environment (table 2c, page 224).



NG: naturalized grassland, CG: cattle grazing, AG: agricultural system. Variables: bulk density (Bd), electric conductivity (Ec), mechanical resistance (MR), organic matter content (OM), Phosphorus content (P), total Nitrogen (N), pH, nitrogen fixing bacteria activity (ara).

NG: pastizal naturalizado, CG: sistema mixto, AG: sistema agrícola. Variables: densidad aparente (Bd), conductividad eléctrica (Ec), resistencia mecánica (MR), contenido de materia orgánica (OM), contenido de fósforo (P), Nitrógeno total (N), pH, actividad bacteriana fijadoras de nitrógeno (ara).

Figure 2. Discriminant analysis performed with the physical, chemical, and microbiological variables.

Figura 2. Análisis discriminante realizado con las variables físicas, químicas y microbiológicas.

Table 2a. Index of degree of change of the diversity between the naturalized grassland and the cattle grazing.

Tabla 2a. Índice de grado de cambio de la diversidad entre el pastizal naturalizado y el sistema mixto.

Cattle grazing-Naturalized grassland	V(\bar{x})	V(S)	V(n)	V(Hx)	V(Hy)	ΣV	Δ
feb-09	0.0862	0.5	0	1	0.3944	1.8081	0.3616
may-09	0.5342	0.2	0.0588	0.7890	0.3160	1.8981	0.3796
aug-09	0.9782	0.2	0.6363	0.8198	0.7215	3.3559	0.6711
dec-09	0.6232	0	0	0.1761	0.0161	0.4631	0.0926
mar-10	0.4792	0.1428	0.0588	0.0866	0.0585	0.7084	0.1416
jun-10	0.7048	0	0.1428	0.1409	0.0815	1.0702	0.2140
sep-10	0.8406	0.1428	0.0588	0.3102	0.0977	1.4503	0.2900
dec-10	0.5107	-0.2	0	0.5915	0.2562	0.1370	0.0274
							0.2491

The sum of the last column being positive, indicates that the biodiversity measured by this index was greater in the CG environment. V: value of the degree of change of each parameter; \bar{x} : mean abundance of the taxonomic group, S: number of taxonomic groups, n: number of sample-unit, Hx: group index of diversity (γ), Hy: Shannon index of diversity.

La suma de la última columna es positiva, indicando que la diversidad medida por este índice fue mayor en el sistema CG. V: valor del grado de cambio de cada parámetro; \bar{x} : abundancia media del grupo taxonómico, S: número de grupos taxonómicos; n: número de unidades por muestra; Hx: índice de diversidad de grupo (γ); Hy: índice de diversidad de Shannon.

Table 2b. Index of degree of change of the diversity between the cattle grazing and the agricultural system.**Tabla 2b.** Índice de grado de cambio de la diversidad entre el sistema mixto y el sistema agrícola.

Agricultural system- Cattle grazing	V(\bar{x})	V(S)	V(n)	V(Hx)	V(Hy)	ΣV	Δ
feb-09	0.5835	-0.20	0.1667	-0.3372	-0.2676	-0.0547	-0.0109
may-09	0.1913	0	-0.1250	0.0276	-0.1551	-0.0612	-0.0122
aug-09	-0.6441	0	-0.0588	-0.4624	-0.1987	-1.3639	-0.2728
dec-09	0.3558	0	0.2308	-0.0640	0.1350	0.6576	0.1315
mar-10	0.2351	0	0.0588	0.2356	0.0619	0.5914	0.1183
jun-10	0.4792	0.1429	0.0588	0.3736	0.2128	1.2673	0.2535
sep-10	-0.3842	0.1111	0.0000	-0.1888	-0.0355	-0.4974	-0.0995
dec-10	0.4479	0.3333	0.0588	0.1816	0.1263	1.1480	0.2296
							0.0422

The sum of the last column being positive, indicates that the biodiversity measured by this index was greater in the AG environment. V: value of the degree of change of each parameter. \bar{x} : mean abundance of the taxonomic group, S: number of taxonomic groups, n: number of sample-unit, Hx: group index of diversity (γ), Hy: Shannon index of diversity.

La suma de la última columna es positiva, indicando que la diversidad medida por este índice fue mayor en el sistema AG. V: valor del grado de cambio de cada parámetro; \bar{x} : abundancia media del grupo taxonómico, S: número de grupos taxonómicos; n: número de unidades por muestra; Hx: índice de diversidad de grupo (γ); Hy: índice de diversidad de Shannon.

Table 2c. Index of degree of change of the diversity between the naturalized grassland and the agricultural system.**Tabla 2c.** Índice de grado de cambio de la diversidad entre el pastizal naturalizado y el sistema agrícola.

Agricultural system - Naturalized grassland	V(\bar{x})	V(S)	V(n)	V(Hx)	V(Hy)	ΣV	Δ
feb-09	0.5236	0.3333	0.1667	1	0.1418	2.1653	0.4331
may-09	0.6583	0.2000	-0.0667	0.7993	0.1693	1.7601	0.3520
aug-09	0.9036	0.2000	0.6000	0.5756	0.6103	2.8895	0.5779
dec-09	-0.3436	0.0000	0.2308	0.1135	0.1192	0.1198	0.0240
mar-10	0.6420	0.1429	0.0000	0.3158	0.1200	1.2207	0.2441
jun-10	0.8851	0.1429	0.2000	0.4888	0.2893	2.0062	0.4012
sep-10	0.6743	0.2500	0.0588	0.1290	0.0624	1.1745	0.2349
dec-10	-0.0814	0.1429	0.0588	0.6982	0.3705	1.1890	0.2378
							0.3131

The sum of the last column being positive, indicates that the biodiversity measured by this index was greater in the AG environment. V: value of the degree of change of each parameter. \bar{x} : mean abundance of the taxonomic group, S: number of taxonomic groups, n: number of sample-unit, Hx: group index of diversity (γ), Hy: Shannon index of diversity.

La suma de la última columna es positiva, indicando que la diversidad medida por este índice fue mayor en el sistema AG. V: valor del grado de cambio de cada parámetro; \bar{x} : abundancia media del grupo taxonómico, S: número de grupos taxonómicos; n: número de unidades por muestra; Hx: índice de diversidad de grupo (γ); Hy: índice de diversidad de Shannon.

The degree of change between AG and NG is higher than between AG vs. CG, therefore AG and NG are more separated between each other than AG and CG are. These results show that the diversity of soil collembolans community resulted in a range were AG > CG > NG.

Comparison of the abundances between systems

A total of 2028 individual collembolans were retrieved throughout the whole sampling period. As shown in figure 3 (page 226), collembolan families behaved differently when their abundances were compared between the studied systems.

The Entomobryidae and Katiannidae families were significantly different ($P < 0.01$) between NG and AG. The three environments showed significant differences for the Hypogastruridae family, being higher in CG, followed by AG, and with NG having the lowest abundance.

The Onychiuridae was significantly different between AG and the other two systems, but no differences were found between NG and CG. Isotomidae showed differences between the natural system (NG) and the other two anthropized systems, which were not different from each other.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

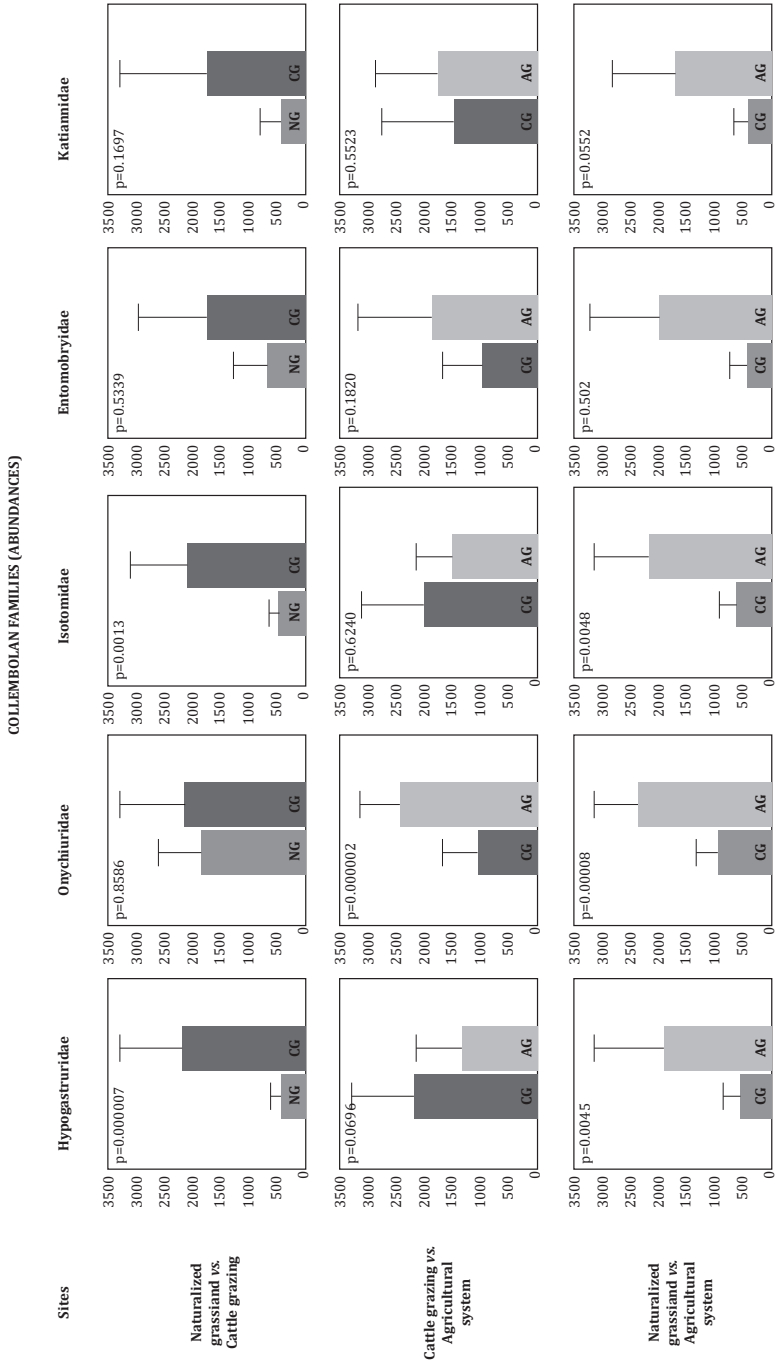
The physical and chemical variables are important in the characterization of the edaphic environments. In this sense, the results presented here allow for a clear separation between the soil uses, which are related to management practices, determining changes in the edaphic environment that modulate the fauna's composition and abundance. The increase of nitrogen and phosphorus as a result of fertilization, the changes in the use of the soil water, and

the changes in the quality and dynamics of litter inputs are all factors that affect the edaphic fauna and are responsible for the fluctuations in their populations (11, 38). In this way, changes introduced by agricultural practices determine changes in the amount of resources available to the soil organisms whose distribution and abundance are determined by the availability of food, the texture and porosity of the soil, water retention, and the existence of predators and parasites (40).

Disturbance or perturbation of soils is usually expected to depress microarthropod numbers. Tillage, fire, and pesticide applications typically reduce populations but recovery may be rapid and micro arthropod groups respond differently.

Regarding the abundance data gathered in this study, there are significant differences between the environments tested. Contrary to what was expected, and unlike what other authors have found (7, 11, 15, 26, 31), the results show higher collembolan diversity in the anthropized systems than in the naturalized grassland in a gradient were AG > CG > NG. Socorrás and Rodríguez (2005) found that undisturbed, fertile soils show high densities of collembolans and mites. The results presented here show that no-tillage agricultural practices with very low or null soil movements, with high levels of litter on the surface, high content of organic matter, and the indirect effect of nutrient enrichment through fertilization, can result in an increase of these groups, as shown in this study.

The analyses performed on collembolans at the family level, show that the response depends on the particular family. These results also show the need of further identifying key collembolan families that can be used as indicators of particular ecological states.



P values (Kruskal-Wallis $p < 0.1$) as well as means and SD are shown. NG: Naturalized grassland; CG: Cattle grazing; AG: Agricultural system.

Se muestra el valor P (Kruskal-Wallis $p < 0.1$) así como la media y el SD. NG: pastizal naturalizado, CG: sistema mixto, AG: sistema agrícola.

Figure 3. Analysis of the abundances (ind/m^2) of each of the collembola community families across the three systems.

Figura 3. Análisis de las abundancias (ind/m^2) de cada familia de la comunidad de colémbolos entre los tres sistemas de uso.

The biological indexes assess the soil global state in a simple way. Since they represent an integrated response of the soil fauna to conditions over an extended period of time, they have some clear advantages for ecological state assessment when compared to classical time-point physical and chemical analyses.

Therefore, the analysis of the structure of the edaphic community provides information on the effects of several factors (management practices, pesticide use, crop residuals) integrated over time. Furthermore, the biological indexes diminish the number of analysis and interventions demanded by other indicators, with the objective of obtaining a good representation of the quality of the soil (37, 41). Therefore, they are useful in agricultural systems, in which it would be hard to focus on one or a few impact factors such as pesticides, crop rotation, sowing, harvest, fertilization and other factors that are present in different combinations (10, 39).

The index of degree of change of the diversity calculated for the different soil uses in this work is a synthetic variable that reflects this integrated response of the biota to the environmental conditions, and allows for the comparison between systems with different soil uses and therefore different anthropic impact.

Work by several authors suggest that intensive agricultural practices tend to reduce collembolan densities (7, 16, 25, 33, 43). According with these authors, collembolan densities are generally lower in agricultural land than in natural sites (43, 25). Maraun *et al.* (2003) suggest that collembolans are particularly sensitive to mechanical disturbances, even more than Oribatids (Acari: Oribatida).

Results by Filser (2002) however, indicate that collembolans can maintain

high population densities under intensive soil disturbances.

The results of the index of degree of change between the ecological systems analyzed in this study show that the agricultural system, under no-tillage management practices extended over several years have a positive effect on collembolan assemblages, when compared to the other two systems evaluated. The results differ from those by Cancela da Fonseca and Sarkar (1996), who found a negative index in their study, which implies a higher global diversity in the uncultivated system when compared to the cultivated one. The positive index of degree of change presented here indicates a higher ecological diversity in the no-tillage agricultural field in comparison to the other two systems.

The higher diversity found in the field that is supposed to be the most disturbed, also coincides with the higher abundance of some collembolan families in these fields. These, somewhat surprising results can be due to the fact that the no-tillage system usually leaves some 15% or more of the harvest residuals on the surface of the soil, diminishing erosion processes (51), preserving water, as well as adding organic matter to the system.

The thick layer of crop residues left on the surface and accumulated year after year, creates a mulch that provides a source of organic matter as food, keeps temperature variations low and soil humidity high, all conditions that favor the development of the soil collembolan communities.

The results of this work show that low impact agricultural practices, which include crop rotation, little use of pesticides, and a high organic matter input may have positive effects on the soil collembolans' community.

An increasing number of works provide growing evidence that soil fauna can be a reliable indicator of anthropic disturbances (7, 19, 23, 25, 27, 28, 53). Earthworms, Enchytraeids, Acari, and Collembolans are all groups being considered as candidates for the development of soil quality indexes (18, 23, 47). The results presented here support this view with a cautionary note. Even though the structure of the collembolan community can be used to assess anthropic impact in the soil ecosystem, not always does it in the expected direction. While most published works support the idea that anthropic impact simplifies the soil fauna,

and lowers diversity and abundance, the results of this work go in a different direction. According to the structure of the collembolan communities tested in this work, an intensive soil use can lead to an increase in collembolan diversity.

Even though more information needs to be gathered on the biology and particular requirements by collembolans, what the results presented in this work clearly show is that the presence, abundance and diversity of collembolan families can be useful indicators to assess the degree of anthropic soil disturbance as more basic biology of these groups becomes available.

REFERENCES

1. Baldigo, B. P.; Lawrence, G. B.; Bode, R. W.; Simonin, H. A.; Roy, K. M.; Smith, A. J. 2009. Impacts of acidification on macroinvertebrate communities in streams of the western Adirondack Mountains. New York. USA. *Ecological Indicators*. 9(2): 226-239.
2. Barbour, M. T.; Gerritsen, J.; Snyder, B. D.; Stribling, J. B. 1991. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and fish. In *Monitoring and Assessing Water Quality. Appendix B: (Part I)*. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington. D. C.
3. Barbour, M. T.; Gerritsen, J.; Snyder, B. D.; Stribling, J. B. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and fish. In *Monitoring and Assessing Water Quality. Appendix B: (Part I) Second Edition*. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington. D.C.
4. Bardgett, R. D. 2005. *The biology of soil: A community and ecosystem approach*. Oxford University Press. Oxford.
5. Bardgett, R. D.; Frankland, J. C.; Whittaker, J. B.; 1993. The effects of agricultural practices on the soil biota of some upland grasslands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 45: 25-45.
6. Bardgett, R. D.; Cook, R. 1998. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. *Applied Soil Ecology*. 10: 263-276.
7. Bedano, J. C.; Dominguez, A.; Arolfo, R.; Wall, L. G. 2016. Effect of good agricultural practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. *Soil and Tillage Research*. 158: 100-109.
8. Blocksom, K. A.; Johnson, B. R. 2009. Development of a regional macroinvertebrate index for large river bioassessment. *Ecological Indicators*. 9(2): 313-328.
9. Brennan, A.; Fortune, T.; Bolger, T.; 2006. Collembola abundances and assemblage structures in conventionally tilled and conservation tillage arable systems. *Pedobiologia*. 50: 135-145.
10. Büchs, W. 2003. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. *Agriculture. Ecosystem and Environment*. 98: 35-78.
11. Cairns, J. Jr.; Pratt, J. R.; 1993. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In D. M. Roseberg and V. H. Resh (eds): *Freshwater Biomonitoring and Benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall. New York. 10-27 p.
12. Cancela da Fonseca, J. P.; Sarkar, S. 1996. On the evaluation of spatial diversity of soil microarthropod communities. *Eur. J. Soil Biol.* 32(3): 131-140.

13. Cancela da Fonseca, J. P.; Sarkar, S. 1998. Soil microarthropods in two different managed ecological systems (Tripura, India). *Applied Soil Ecology*. 9: 105-107.
14. Carlisle, D. M.; Meador, M. R.; Moulton, H.; Ruhl, P. M. 2007. Estimation and application of indicator values for common macroinvertebrate genera and families of United States. *Ecological indicators*. 7: 22-33.
15. Cortet, J.; Ronce, D.; Poinso-Balaguer, N.; Beaufreton, C.; Chabert, A.; Viaux, P.; Cancela da Fonseca, J. P. 2002. Impacts of different agricultural practices on the biodiversity of microarthropod communities in arable crop systems. *European Journal of Soil Biology*. 38: 239-244.
16. Culik, M.; de Souza, J.; Ventura, J. 2002. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espirito Santo. Brazil. *Appl. Soil Ecol.* 21: 49-58.
17. Decaëns, T. 2010. Macroecological patterns in soil communities. *Global Ecol. Biogeogr.* 19: 287-302.
18. Dickens, C. W. S.; Graham, P. M.; 1998. Biomonitoring for effective management of wastewaters discharges and the health of the river environment. *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 1: 199-217.
19. Domínguez, A.; Bedano, J. C.; Becker, A. R.; Arolfo, R. V. 2014. Organic farming fosters agroecosystem functioning in Argentinean temperate soils: Evidence from litter decomposition and soil fauna. *Appl. Soil Ecol.* 8: 170-176.
20. European Parliament 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. (OJ L 327, 22-12-2000, p. 1).
21. Erwin, D. 1996. The geologic history of diversity. In: Szaro, R. C.; Johnston, D. W. (Eds.). *Biodiversity in managed landscapes*. Oxford University Press, Oxford. European Parliament 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. (OJ L 327, 22-12-2000, p 1).
22. Falco, L.; Coviella, C. 2016. Contribution of *Amyntas gracilis* (Megascolecidae) and *Octolasion cyaneum* (Lumbricidae) to soil physical stability: a mesocosm experiment. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(1): 115-127.
23. Ferraro, D.; Ghersa, C. 2007. Exploring the natural and human-induced effects on the assemblage of soil microarthropod communities in Argentina. *Europ. J. Soil. Biol.* 43: 109-119.
24. Filser, J. 2002. The role of Collembola in carbon and nitrogen cycling in soil. *Pedobiologia (Jena)*. 46: 234-245.
25. Frampton, G. K. 1997. The potential of collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. *Proceedings. Pedobiologia*. 41(1-3): 179-184.
26. Fredes, N. A.; Martínez, P. A.; Bernava Laborde, V.; Osterrieth, M. 2009. *Revista Argentina de Ciencias del Suelo*. 27(1): 89-101.
27. Gomez-Anaya, J. A.; Palacios-Vargas, J. G.; Castaño-Meneses, G. 2010. Abundancia de colémbolos (Hexapoda: Collembola) y parámetros edáficos de una selva caducifolia. *Revista Colombiana de Entomología* 36(1): 96-105.
28. Graham, J. H.; Krzysik, A. J.; Kovacic, D. A.; Duda, J. J.; Freeman, D. C.; Emlen, J. M.; Zak, J. C.; Long, W. R.; Wallace, M. P.; Chamberlin-Graham, C.; Nutter, J. P.; Balbach, H. E. 2009. Species richness, equitability, and abundance of ants in disturbed landscapes. *Ecological Indicators*. 9(5): 866-877.
29. Hopkin, S. P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press. Oxford.
30. Hutson, B. R.; Veitch, L. G. 1983. Mean annual population densities of Collembola and Acari in the soil and litter of three indigenous South Australian forests. *Aust. J. Ecol.* 8: 113 -126.
31. Kautz, T.; Lopez-Fando, C.; Ellmer, F. 2006. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Applied Soil Ecology*. 33: 278-285.
32. Lavelle, P.; Bignell, D.; Lepage, M.; Wolters, V.; Roger, P.; Ineson, P.; Heal, O. W.; Dhillon, S.; 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33(4): 159-193.

33. Maraun, M.; Salamon, J.; Schneider, K.; Schaefer, M.; Scheu, S. 2003. Oribatid mite and collembolan diversity, density and community structure in a modern beech forest (*Fagus sylvatica*): effects of mechanical perturbations. *Soil Biol. Biochem.* 35: 1387-1394.
34. Mazzoncini, M.; Canali, S.; Giovannetti, M.; Castagnoli, M.; Tittarelli, F.; Antichi, D.; Nannelli, R.; Cristani, C.; Barberi, P. 2010. Comparison of organic and conventional stockless arable systems: A multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Applied Soil Ecology.* 44: 124-132.
35. McLaughlin, A.; Mineau, P. 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 55: 201-212.
36. Momo, F.; Falco, L. 2010. *Biología y Ecología de la fauna del suelo*. Ed. Imago Mundi.
37. Muller, F.; Hoffmann-Kroll, R.; Wiggering, H. 2000. Indicating ecosystem integrity- theoretical concepts and environmental requirements. *Ecological Modeling.* 130: 13-23.
38. Pankhurst, R. J.; Rapela, C. W.; Saavedra, J.; Baldo, E.; Dahlquist, J.; Pascua, I.; Fanning, C. M.; 1998. The Famatinian magmatic arc in the central Sierras Pampeanas. In: Pankhurst, R. J. and C. W. Rapela (Eds.): *The Proto-Andean Margin of South America*. Special Publication of the Geological Society. London. 142: 343-368.
39. Paoletti, M. 1999. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 74: 1-18.
40. Paoletti, M. G.; Sommaggio, D.; Favretto, M. R.; Petruzzelli, G.; Pezzarossa, B.; Barbafieri, M.; 1998. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology.* 10: 137-150.
41. Parisi, V.; Menta, C.; Gardi, C.; Jacomini, C.; Mozzanica, E. 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystem and Environment.* 105: 323-333.
42. Pérez, G. R.; Barbieri, P. A.; Hernandez Guijarro, K.; Echeverría, H. E.; Covacevich, F. 2017. Labranza y fertilización como moduladores de la dinámica de comunidades microbianas asociadas a un cultivo de trigo en el sudeste bonaerense (Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 49(2): 219-234.
43. Petersen, H. 2002. Effects of non-inverting deep tillage vs. conventional ploughing on collembolan populations in an organic wheat field. *Eur. J. Soil Biol.* 38: 177-180.
44. Quintana, X. D.; Boix, A.; Badosa, A.; Brucet, S.; Compte, J.; Gascón, S.; López-Flores, R.; Sala J.; Moreno-Amisch, R. 2006. Community structure in mediterranean shallow lentic ecosystems: size-based vs. taxon-based approaches. *Limnetica.* 25: 303-320.
45. Ruiz, H. A.; Oliverio Sarli, G.; Gonçalves Reynaud Schaefer, C. E.; Filgueira, R. R.; Silva de Souza, F. 2016. La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 95-105.
46. Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation.* 7: 1207-1219.
47. Sandler, R. V.; Falco, L. B.; Di Ciocco, C.; De Luca, R.; Coviella, C. E. 2010. Eficiencia del embudo Berlese-Tullgren para extracción de artrópodos edáficos en suelos Argiudoles típicos de la provincia de Buenos Aires. *Cs. Suelo.* 28(1): 1-7.
48. Scampini, E. M.; Osterrieth, M. L.; Martinez, P. A. 2000. Estudio de las propiedades físico-químicas y mesofauna en una bordura del cordón hortícola de Laguna de los Padres, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Neotrópica.* 46: 3-10.
49. Socorrás, A.; Rodríguez, M. 2005. Utilización de la mesofauna como indicador biológico en pareas con *Pinus cubensis* en la zona minera de Moa, Holguín, Cuba. Cuba.
50. Swift, M. J.; Anderson, J. M. 1993. Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. *Biodiversity and Ecosystem Function* (eds. E.D. Schulze and H. A. Mooney). Springer-Verlag, Berlin. 15-41.
51. Unger, P. W. 1994. Residue management strategies-great plains. In: Hatfield, J. L. (Ed.). *Crops residue management, advances in soil science*. CRC Press. Inc. Boca Ratón. p. 37-61.

52. USDA United States Department of Agriculture. 2010. Keys to soil taxonomy. Eleventh Edition. Washington.
53. Van Stralen, N. M.; Verhoef, H. A. 1997. The development of a bioindicator system for soil acidity based on arthropod pH preferences. *Journal of Applied Ecology*. 34: 217-232.
54. Viglizzo, E. F.; Pordomingo, A. J.; Castro, M. G.; Lértora, F. A.; Bernardos, J. N. 2004. Scale dependent controls on ecological functions in agroecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 101: 39-51.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to acknowledge the collaboration of Agr. Eng. Eduardo Penon and Loreta Gimenez for their field and lab assistance, and Dr. Andrés Duhour for his help with the statistics analyses. Dr. Edward T. Johnson was helpful in revising the English version of this manuscript. A special acknowledgment goes to Edgardo Ferrari, Pablo Peretto, and Romina de Luca for allowing the use of their properties as sampling sites. This work was partially funded by a Grant by the Agencia Nacional de Promocion Cientifica y Técnica, Argentina (PICT 02293-2006) and Universidad Nacional de Luján.

Análisis de datos sensoriales de tomate triturado con lógica difusa y técnicas multivariadas

Sensory data analysis crushed tomatoes with fuzzy logic and multivariate techniques

Matilde Inés Césari¹, Nancy Beatriz Ventrera², Adriana Gámbaro³

Originales: *Recepción*: 04/04/2016 - *Aceptación*: 27/04/2017

RESUMEN

El conjunto de las técnicas de recolección y análisis de datos, generados en la evaluación sensorial, constituye una rama de la estadística llamada sensometría. Si se tiene en cuenta la vaguedad e incertidumbre con la que se manifiestan las percepciones humanas, la estrategia más apropiada para obtener conocimiento preciso a partir de valoraciones subjetivas, consiste en transformar los datos sensoriales mediante la matemática borrosa. No obstante el potencial que muestra el razonamiento borroso, en la actualidad, existen pocas referencias sobre la aplicación de la lógica difusa en la evaluación sensorial, y no se dispone de criterios y métodos armonizados y sistematizados para una evaluación sensorial objetiva y reproducible, en alimentos vegetales. Los resultados obtenidos en pruebas sensoriales en tomate triturado, permitieron exponer un marco metodológico para el análisis sensométrico de datos borrosos con la utilización de la lógica difusa y métodos de análisis multivariado de datos. De esta manera se optimizan las técnicas en las pruebas sensoriales, para así renovar el proceso de análisis sensorial, desarrollando un área específica que mejorará el valor económico en la producción alimentaria argentina.

Palabras clave

evaluación sensorial • tomate • datos sensoriales • sensometría • lógica borrosa • análisis de correspondencias

-
- 1 CeReCon (Centro de Investigación en Computación y Neurociencia). Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional Rodriguez 273. 5500. Mendoza, Argentina. matilde.cesari@yahoo.com
matilde.cesari@frm.utn.edu.ar
 - 2 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Dpto. de Ciencias Enológicas y Agroalimentarias. Cátedra de Bromatología. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. nventrera@fca.uncu.edu.ar
 - 3 Universidad de la República. Facultad de Química. Cátedra de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Sección Evaluación Sensorial. Avda. Gral. Flores 2124. C.P.11800. Montevideo. Uruguay. agambaro@fq.edu.uy

ABSTRACT

All data collection and analysis techniques, generated in the sensory evaluation, constitute a branch of the statistic called sensometry. If it is taking into account the vagueness and uncertainty with which human perceptions are manifested, the most appropriate strategy for obtaining precise knowledge from subjective evaluations is to transform the sensory data through fuzzy mathematics. However the potential of fuzzy reasoning, there are currently few references about the application of fuzzy logic in sensory evaluation, and there are no harmonized and systematized criteria and methods for objective sensory evaluation and reproducibly in plant foods. The results obtained in sensory tests of crushed tomato allowed to expose a methodological framework for the sensometric analysis of fuzzy data with the use of fuzzy logic and methods of multivariate analysis of data. In this way the techniques in the sensorial tests are optimized, and thus the process of sensorial analysis is renewed, developing a specific area that will improve the economic value in the Argentinean food production.

Keywords

sensory evaluation • tomato • sensory data • sensometrics • fuzzy logic
• correlation analysis

INTRODUCCIÓN

El término "datos sensoriales", se aplica a todos aquellos datos generados en la percepción de características de un producto alimenticio, a través de los sentidos. El conjunto de las técnicas de recolección de este tipo de datos y métodos estadísticos de análisis asociados constituyen la rama de la Estadística llamada Sensometría (3), la cual resulta, de gran utilidad en estudios que involucran degustaciones en la industria alimentaria. Estas técnicas se encuentran en continua expansión, dada la creciente competitividad de los mercados, y que genera continuamente nuevos problemas, exigentes de técnicas de análisis de datos más sofisticadas.

Con la finalidad de disponer de medidas sensoriales, de aplicación en el área de productos de origen vegetal, se han adoptado metodologías basadas en el concepto de perfil descriptivo, además de diseño de producto, calidad poscosecha,

articulación de datos sensoriales e instrumentales, y evaluación individual o grupal del rendimiento de un panel de jueces (12, 13, 25, 27).

Una problemática de los métodos de evaluación sensorial (ES), reside en el trabajo con paneles de laboratorio constituidos por personas que proporcionan la información percibida por sus sentidos (16, 22, 28) y se debe lograr que la respuesta humana sea precisa y se pueda determinar de modo cuantitativo.

Existen diferencias en las percepciones sensoriales individuales en cuanto a gustos, sonidos, formas, iluminación, olores, etc., de tal forma que cada sujeto tiene una imagen global del mundo. Esta variabilidad esta reforzada por la educación, nivel social, cultura y personalidad del catador (2), por lo que los resultados de las pruebas sensoriales se expresan en términos relativos y no en términos absolutos, por ende, este tipo de información implica siempre subjetividad o

vaguedad. La incerteza es aquella que surge de procesos humanos, como la sensación, la percepción, la experiencia cognoscitiva, el razonamiento y el pensamiento.

La percepción que se logra del entorno físico a través de los sensores naturales (ojos, oídos, nariz, etc.) contiene incertezas que no pueden ser caracterizadas usando estadística o incluso razonamiento lógico tradicional. Específicamente, la incerteza léxica, trata la imprecisión propia en la mayoría de las palabras humanas, usadas para evaluar conceptos y derivar conclusiones. Con el uso de abstracción y analogías, unas pocas oraciones describirán contextos complejos que son difíciles de modelar con precisión matemática (20, 23, 32).

El estudio exploratorio de los datos imprecisos, presenta restricciones, puestas en evidencia por Ávila-de Hernández *et al.* (2011). Variables que presentan elevado número de valores perdidos, lo cual implica por un lado, pérdida de eficiencia en el análisis, y por otro lado, frente a la posibilidad de que los valores perdidos sigan un patrón no aleatorio, tanto ignorarlos como estimarlos, mediante alguno de los sistemas de imputación, implica un sesgo, inconveniente en la obtención de patrones mediante el análisis factorial (21). Barda *et al.* (2011) señala que los valores medios y la dispersión alertan de posibles deficiencias de los datos observados, en relación con problemas de la realidad estudiada e incluso la propia naturaleza subjetiva de las mediciones (26, 36).

A partir de estos problemas, es indispensable el empleo de métodos robustos, como los que provee el análisis multivariado, con el diseño de una estrategia que permita minimizar el efecto de valoraciones atípicas (outlier) y faltantes.

El amplio intervalo de respuestas del ser humano a los estímulos sensoriales, genera complejidad en la percepción de

la calidad de los alimentos. El empleo de la lógica borrosa permitirá representar y manipular los datos sensoriales subjetivos, con métodos multivariados y univariados conocidos. En este sentido, la definición de los conjuntos difusos que representan los distintos valores de cada variable, es un primer paso en un proceso de razonamiento aproximado en el que se opera sobre la base de percepciones en lugar de medidas de las mismas.

La teoría de la posibilidad, constituyen modelos, basados en la lógica borrosa, que resultan especialmente útiles para tratar con la imprecisión de manera más "natural" y más "humana". Emplean una terminología particular: "Fuzzy" (difuso o borroso); "Crisp" (nítido); "Fuzzification" (borrosificación: convertir un conjunto nítido en borroso); y "Defuzzification" (desborrosificación: convertir un conjunto borroso en un valor "Crisp").

El concepto de la lógica borrosa, surgió en Estados Unidos de América (1965) con Zadeh, y el enfoque difuso explica los valores ambiguos, inexactos, por medio de variables lingüísticas borrosas, donde cada uno de sus valores, se representan con un número borroso. Básicamente, se asignan diferentes valores de verdad a los enunciados y no solamente los clásicos «falso» o «verdadero». Asimismo, ofrece un marco de trabajo natural donde las cantidades borrosas son interpretadas como distribuciones de posibilidad, describiendo los valores del conocimiento incierto o impreciso de conjuntos borrosos (31).

El supuesto de dicha teoría es que existen conjuntos en los que no está claramente determinado si un elemento pertenece o no al conjunto, a veces, un elemento pertenece al conjunto con cierto grado. En el caso de un conjunto de muestras de alimentos dulces, constituye un conjunto difuso, pues no está claro

el límite de dulzura que establece cuál alimento sería dulce o no lo sería, ese límite es borroso y, por tanto, el conjunto que delimita también lo será.

El enfoque difuso permite representar los datos de las escalas sensoriales por medio de variables lingüísticas borrosas, donde cada valor es un número borroso (conjunto difuso). Por ejemplo, la variable lingüística "intensidad aroma" puede tomar los valores lingüísticos "ausente", "muy débil", "débil", "medio, fuerte" y "muy fuerte", tienen un significado semántico y se pueden expresar numéricamente por un grado de verdad entre 0 y 1 (30, 31, 32).

La figura 1, muestra los tres componentes básicos de un conjunto difuso: (1) Eje x (números reales crecientes) que constituyen el Dominio del conjunto difuso; (2) Eje y con valores entre 0 y 1 que significa grado de pertenencia al conjunto; y (3) función de pertenencia (superficie) del conjunto, que conecta un elemento del dominio con su grado de pertenencia. El grado de pertenencia de un conjunto difuso es subjetivo, implica una "definición" más que "medición".

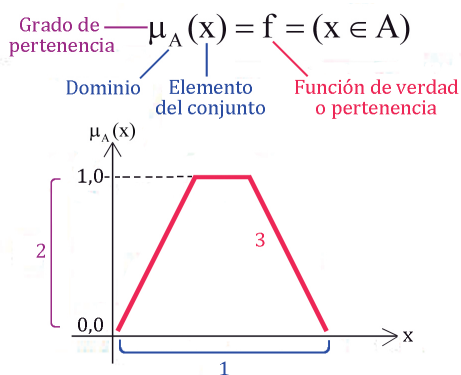


Figura 1. Representación de los tres Componentes de un Conjunto difuso.

Figure 1. Representation of the three components of a fuzzy set.

Los humanos poseen habilidad para asignar grados de pertenencia a objetos determinados, sin un entendimiento consciente de cómo llegar a ese valor. Otra característica, que aporta a su subjetividad, es que dependerá del contexto. Formalmente, se define a una función de pertenencia como una curva donde un valor de entrada es mapeado a un valor de pertenencia o membresía al conjunto difuso (36).

Transformar los datos sensoriales mediante la matemática borrosa, es un enfoque apropiado para obtener conocimiento preciso a partir de valoraciones subjetivas. Sin embargo, aunque el razonamiento borroso puede tener potencial como método eficaz en el análisis de datos, en la actualidad, hay pocas referencias sobre cómo llevar a cabo la aplicación de la lógica difusa en la sensometría, y no se dispone de criterios y métodos armonizados y normalizados para una evaluación objetiva y reproducible, utilizando la matemática borrosa (8, 10, 20).

En cuanto al análisis de datos borrosos, el Análisis Factorial Multivariado de Datos (AFMD) en la versión de la escuela francesa, surge en la década de los 70, planteando fines menos deterministas que los de la Estadística tradicional. Su objetivo general es la búsqueda de una estructura presente en los datos, en un contexto de tipo más abductivo que deductivo, que revaloriza el rol del individuo estadístico (3).

En la actualidad, las técnicas de AFMD tales como el Análisis Factorial de Correspondencias Simples (ACS) y las pruebas de asociación y validación de tablas de contingencia, presentan salidas gráficas fáciles de interpretar y revelan relaciones no lineales entre las modalidades de diferentes variables que otros métodos no permiten observar. En el análisis de números borrosos es apropiado

el uso de estas técnicas al representar los datos en tablas de contingencia.

El tema que se desarrolla en este trabajo busca exponer un esquema metodológico basado en el enfoque difuso, para el análisis de datos. Con la finalidad de demostrar que el empleo del análisis multivariado a partir de datos difusos que representan la información de los individuos de manera más realista, enriquece el proceso de análisis, ya que constituye un instrumento de observación apropiado que facilita la explotación de datos cuantitativos, cualitativos y también borrosos.

Para lograr este propósito, en el marco de la tesis "Estudio y Aplicación de la lógica borrosa para medir, analizar y evaluar calidad sensorial en alimentos", para optar al título de Doctora en Alimentación, de la carrera en Red Norte de Argentina, se planteó la representación de la incertidumbre a través de la lógica difusa y presentó, a partir del estudio de un caso, la aplicación de técnicas de análisis factorial de correspondencia y técnicas de validación y descripción, en el tratamiento de datos borrosos en estudios de percepción sensorial de tomate triturado, con datos otorgados por la cátedra de Bromatología de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para establecer un marco de trabajo que resulte flexible y eficiente en el manejo de información imprecisa asociada con el análisis de datos, se representó la incertidumbre a través de la lógica difusa y se aplicó técnicas de análisis multivariante en el tratamiento de datos borrosos, en el ámbito del análisis sensométrico de alimentos de origen vegetal.

Se utilizaron los resultados de pruebas sensoriales realizadas en el 2015, con el

objeto de evaluar la percepción sensorial de tomate triturado, a través de descriptores de aspecto general y consistencia, entre otros. Los datos obtenidos dentro del marco del proyecto SeCTyP "Evaluación sensorial de productos frutihortícolas", fueron provistos por la Cátedra de Bromatología de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. Y se obtuvieron al aplicar una prueba descriptiva, con escalas estructuradas de 5 puntos, a través de un panel de 8 jueces, en siete muestras ("M954", "M632", "M125", "M471", "M580", "M369" y "M293") de tomate triturado con agregado de *Aloe vera* elaborado dentro del proyecto SeCTyP "Uso de gel de *Aloe sp* en alimentos".

La propuesta Metodológica de Análisis de Datos Borrosos, involucra 4 grandes procesos: -1- La codificación y estandarización de los datos medidos; -2- La definición de las variables lingüísticas difusas y su empleo en la transformación de los datos estandarizados en números borrosos representados en una tabla de contingencia; -3- La obtención de un valor borroso colectivo de todo el panel y un valor cuantitativo (crisp) final representativo de la calificación de las muestras evaluadas; -4- aplicación de métodos multivariados para análisis, visualización y obtención de conocimiento sobre los datos borrosos (métodos factoriales de correspondencias para tablas de contingencia y factorial múltiple para estudio de múltiples tablas de contingencia).

La codificación y estandarización de datos sensoriales

Las valoraciones obtenidas de las pruebas sensoriales se presentan en diversas tablas de datos; naturaleza cuantitativa (datos no estructurados tratados como números) o de naturaleza cualitativa (datos estructurados en categorías o etiquetas verbales).

En el caso de aplicación, la tabulación se realizó en una matriz de datos cuantitativos discretos. Se dispuso cada muestra valorada en filas vs. cada descriptor evaluado, en columnas, las valoraciones se representaron por un número, de 1 a 5 para los dos descriptores sensoriales (tabla 1).

Opcionalmente, las puntuaciones en los atributos se normalizan a efectos de eliminar problemas de cálculo originados en la utilización de diferentes escalas. De esta manera se utiliza una misma variable lingüística difusa. Para la estandarización de los datos, se propone utilizar el método de normalización lineal a valores de 0 a 1, usando la ecuación de la recta.

Transformar las valoraciones a datos borrosos

Los atributos medidos se representan a través de una o varias variables lingüísticas borrosas, lo que requiere seleccionar los descriptores lingüísticos adecuados y su semántica.

Tabla 1. Representación esquemática de la Tabla de datos donde se tabularon los datos sensoriales observados de la prueba con muestras de tomate triturado.

Table 1. Schematic representation of the data table where the observed sensory test data are tabulated with samples of crushed tomatoes.

Juez	Muestra	Aspecto general	Consistencia
J01	M954	Apreciación (valores de 1 a 5)	
...			
J08			
J01	...		
...			
J08			
J01	M293		
...			
J08			

Descriptores lingüísticos

Se elige un conjunto de etiquetas o de términos lingüísticos (conjuntos difusos). Se consideraran *i* etiquetas lingüísticas finitas y totalmente ordenadas, como $C = \{ c_0, c_1, \dots, c_i \}$, $c_0 \leq c_1 \leq \dots, c_i$, donde cada etiqueta c_i representa la valoración lingüística para cada descriptor (se denomina granularidad de la variable). El número de conjuntos difusos, se define por el analista en función de los objetivos de la prueba. Valores típicos de "granularidad" son aquellos impares como 5, 7 ó 9, donde el término medio representa un valor indiferente o punto medio, y el resto se distribuye simétricamente a su alrededor. Sin embargo, las etiquetas y su significado deben ser acordes con las escalas utilizadas en las pruebas, por lo que no siempre el valor central determina la indiferencia, y no siempre las escalas son simétricas (4, 11).

Semántica de los conjuntos difusos

Este procedimiento define para cada conjunto difuso (términos lingüísticos) una función matemática que representa el grado de (posibilidad o verdad de una percepción) pertenecer a un conjunto borroso.

Los tipos de funciones de pertenencia comúnmente utilizados son: la función Triangular, Trapezoidal y Gaussiana, entre otras (36). Las estimaciones lingüísticas con una escala de medición de la cual se obtiene observaciones numéricas, tienden a seguir una distribución normal y es apropiado el uso de números borrosos Gaussianos.

En un conjunto difuso con función Gaussiana (figura 2, pág. 239), se definen dos parámetros (a y b) que determinan la media o desvío de una campana de Gauss, donde a representa el valor medio central, con total pertenencia al conjunto ($\mu=1$), y b es el desvío que representa la amplitud de la campana.

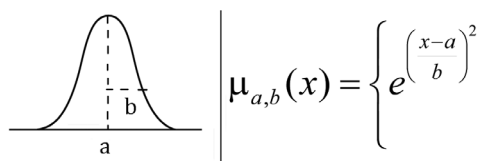


Figura 2. Representación gráfica y parámetros de la Función de Pertenencia Gaussiana. A la derecha se representa el cálculo de $\mu_{a,b}(x)$ eje vertical

Figure 2. Graphical representation and parameters of the Gaussian membership function. To the right is represented calculate $\mu_{a,b}(x)$ axe vertica.

Otra forma alternativa es la de la Ecuación 1:

$$\mu_{a,b}(x) = \exp[-b \cdot (x-a)^2] \quad (1)$$

En el caso de estudio, para la representación de la intensidad (Aspecto y Consistencia), se definió una misma variable lingüística y correspondiente función de tipo Gaussiana para ambos atributos, con 5 conjuntos difusos, para transformar valores de 1 a 5 respecto de "intensidad o apreciación" (figura 3, pág. 240).

La representación gráfica se efectuó a través de los gráficos XY dispersión (Microsoft Excell) y la herramienta para desarrollo de sistemas de inferencia borrosa de FisPro (Fuzzy Inference System Professional). Dicho sistema es un Software de código abierto que permite crear modelos simples de inferencia difusa y utilizarlos con el propósito de razonamiento, sobre todo para la simulación de un sistema físico o biológico (17).

Borrosificación

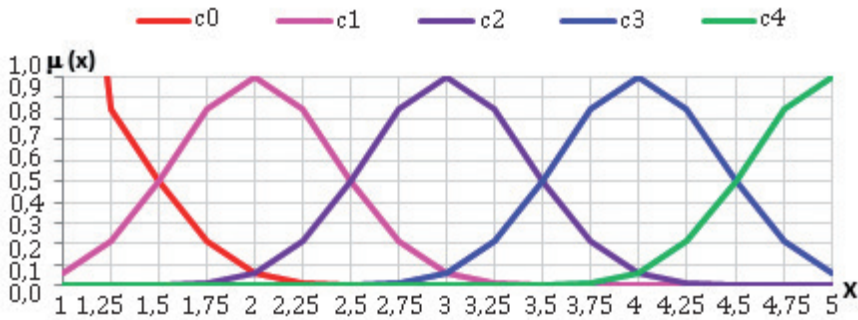
Los datos sensoriales tabulados en punto -1-, se convierte en un número borroso derivado empíricamente. A través

de las ecuaciones de las funciones de pertenencia definidas para las variables lingüísticas en punto -2-, se compara el valor sensorial con la función matemática correspondiente, obteniendo un valor entre cero y uno para cada conjunto difuso. Cada uno de estos valores de posibilidad de asociarse a cada etiqueta lingüística, constituye un número borroso. Los datos borrosificados se representan en una tabla de contingencia, en columna se representa los conjuntos borrosos de cada descriptor, en fila se identifica la percepción para un panelista de cada muestra, la celda representa el valor de posibilidad obtenido. En el caso de estudio, se determinó la expresión de la intensidad de las percepciones de los jueces sobre cada una de las características de las muestras de tomate evaluadas, mediante etiquetas lingüísticas. Para cada valoración de los jueces, se aplicó la Ecuación 1, con los parámetros definidos en la figura 3 (pág. 240, para determinar el valor de pertenencia, de cada conjunto borroso en cada atributo (tabla 2, pág. 241).

Agregación

En esta etapa, se determina un valor colectivo del panel, para cada característica, aplicando un "operador de agregación" sobre las evaluaciones borrosificadas, y posteriormente un "método de desborrosificación" para calcular un valor preciso (crisp). El procedimiento consiste, en calcular para cada conjunto borroso c_i la unión $t(c_i)$ del conjunto difuso.

Se propone un operador de la familia de t-conormas, denominado suma algebraica de los valores de pertenencia $\mu(c_i)$ de los p panelistas (ecuación 2, pág. 240). Es considerado apropiado para la agregación de datos sensoriales, siendo un operador probabilístico; este calcula la suma menos el producto de los valores de posibilidad de cada conjunto.



c0: Muy Malo / Inconsistente . c1: Malo / Poco Consistente . c2: Intermedio / Media . c3: Bueno / Consistente
 c4: Muy Bueno / Muy Consistente
 c0: Very Bad / Inconsistent . c1: Bad / Little Consistent . c2: Intermediate . c3: Good / Consistent .
 c4: Very Good / Very Consistent

Figura 3. Definición de Variable lingüística difusa de Intensidad (Aspecto General y Consistencia) para borrosificar datos de tomate triturado.

Figura 3. Variable fuzzy linguistic definition Intensity (General and Consistency Aspect) for data borrosificar crushed tomatoes.

Se obtiene un valor agregado colectivo del grupo de degustadores, para cada conjunto difuso correspondiente un atributo sensorial.

$$t(c_i) = \sum_1^p \mu(c_i) - \prod_1^p \mu(c_i) \quad (2)$$

donde:

p = número de panelistas (jueces y/o consumidores).

c_i = identifica cada conjunto difuso de la variable lingüística (toma valores desde 0).

Luego, a partir de la agregación $t(c_i)$, se identifica la etiqueta lingüística o conjunto difuso colectivo de los p panelistas; para una granularidad de 5, son $k = 5$ conjuntos difusos, representados por c_i etiquetas (i varía de 0 a 4), se calcula la etiqueta lingüística agregada según la Ecuación 3,

donde S podrá tomar valores de 0 a 4 (se redondea para obtener un valor discreto), la etiqueta lingüística es la representada por l_s .

$$S = entero \left(\frac{\sum_1^k t_{c_i} \cdot i}{\sum_1^k t_{c_i}} \right) \quad (3)$$

k = granularidad de la variable lingüística (número de conjuntos difusos).

i = identifica cada etiqueta o conjunto difuso (toma valores de 0 hasta $k-1$).

$t(c_i)$ = agregación del conjunto difuso c_i (unión).

Por medio de los métodos de desborrosificación, a partir del conjunto de valores borrosos agregados, se obtiene información precisa expresada mediante un valor crisp. Cada método utiliza una fórmula matemática para calcular la salida final.

Tabla 2. Representación de los cálculos de borrosificación, agregación, valor borroso y desborrosificación de los valores de aspecto y consistencia de la muestra M632 de tomate triturado.

Table 2. Representation fuzzification calculations, aggregation, and defuzzification fuzzy value of the securities in appearance and consistency of the M632 sample of crushed tomatoes.

Juez	Muestra	Aspecto General	AG-c0	AG-c1	AG-c2	AG-c3	AG-c4	Consistencia	CO-c0	CO-c1	CO-c2	CO-c3	CO-c4
J01	M632	5	0,000	0,000	0,000	0,064	1,000	4	0,000	0,000	0,064	1,000	0,064
J02	M632	1	1,000	0,064	0,000	0,000	0,000	5	0,000	0,000	0,000	0,064	1,000
J03	M632	3	0,000	0,064	1,000	0,064	0,000	3	0,000	0,064	1,000	0,064	0,000
J04	M632	4	0,000	0,000	0,064	1,000	0,064	2	0,064	1,000	0,064	0,000	0,000
J05	M632	5	0,000	0,000	0,000	0,064	1,000	4	0,000	0,000	0,064	1,000	0,064
J06	M632	5	0,000	0,000	0,000	0,064	1,000	5	0,000	0,000	0,000	0,064	1,000
J07	M632	5	0,000	0,000	0,000	0,064	1,000	4	0,000	0,000	0,064	1,000	0,064
J08	M632	4	0,000	0,000	0,064	1,000	0,064	1	1,000	0,064	0,000	0,000	0,000
	M632	3,97					4,13	c3					c2

$$\mu_{a,b}(x) = \exp^{-b \cdot (x-a)^2}$$

$$S = \text{entero} \left(\frac{\sum_{i=1}^k t_{ci} \cdot i}{\sum_{i=1}^k t_{ci}} \right)$$

0,000 = Borrosificación (Ecuación 1)

c3 / c2 = Valor Borroso (Ecuación 3)

$$t(c_i) = \sum_{i=1}^p \mu(c_i) - \prod_{i=1}^p \mu(c_i)$$

$$V_{\text{CRISP}} = \frac{\sum_{i=1}^k \left(\frac{t(c_i)}{b^2} \cdot a_i \right)}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{t(c_i)}{b^2} \right)}$$

4,13 = Agregación (Ecuación 2)

3,97 / 3,49 = DesBorrosificación (Ecuación 4)

La bibliografía sugiere diversas alternativas de operadores de desborrosificación (36). En el caso de usar funciones de tipo gaussianas, se propone implementar el método de la Altura modificado; se divide la agregación t del conjunto difuso c_i , por el desvío (parámetro b) elevado al cuadrado, finalmente para obtener el valor preciso correspondiente se utiliza la Ecuación 4.

$$V_{\text{CRISP}} = \frac{\sum_1^k \left(\frac{t(c_i)}{b^2} \cdot a_i \right)}{\sum_1^k \left(\frac{t(c_i)}{b^2} \right)} \quad (4)$$

donde:

k = granularidad de la variable lingüística (número de conjunto difuso)

i = identifica a un conjunto difuso (etiqueta lingüística de 0 a $k-1$)

a_i = centro de gravedad de cada conjunto c_i , y b^2 = desvío al cuadrado

$t(c_i)$ = unión de los valor de pertenencia de los p panelista para un conjunto c_i .

Para el caso de aplicación, a través de las valoraciones borrosificadas, se calculó un valor colectivo, para cada característica, a través de la aplicación del operador de agregación "suma algebraica" (Ecuación 2, pág. 240). Los resultados por muestra, se traspusieron en una tabla de contingencia.

A partir de la Ecuación 3 (pág. 240), para cada etiqueta l_s , se asignó un número borroso según los parámetros (a y b) de la variable lingüística.

A partir de las valoraciones borrosificadas y agregadas, se construyeron las tablas de contingencia apropiadas, con fines de continuar la estrategia de análisis propuesta en el siguiente procedimiento para la explotación de los datos difusos obtenidos (tabla 2, pág. 241).

Estrategia metodológica para el análisis de datos borrosos

Se establecen dos sistemas de tablas de contingencia, a partir de los números borrosos agregados en la unión y las valoraciones borrosificadas.

Todos los datos son estandarizados mediante el método de normalización lineal en valores de 0 a 100, de esta manera se representa porcentaje de posibilidad que asocia un elemento en fila con un elemento columna. La visualización de asociaciones se realiza a través de un Análisis factorial de correspondencias simples (AFCS) (6, 14, 15, 18).

La interpretación, descripción y validación, se efectúa por las pruebas del χ^2 , y prueba exactas de Fischer y el valor de prueba *Valor de Test* (5, 6, 9, 19, 24, 29). Para la puesta en práctica de la estrategia de análisis factorial y pruebas de asociación, se utilizó el software de libre distribución para uso académico DTM. Minería de Datos y Textos, que trata la estadística exploratoria multidimensional de datos complejos, incluyendo datos numéricos y textuales (18); y el módulo de análisis sensorial del software comercial Xlstat, bajo la licencia para investigar 2015 (30).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del cálculo del valor colectivo borroso, para cada característica, se construyeron las tablas de contingencia para cada atributo, de manera de comparar las muestras de tomate triturado.

En la tabla 3 (pág. 243), los datos asocian las muestras (filas) con los conjuntos difusos de las variables lingüísticas utilizadas en la borrosificación (columnas), y representa el porcentaje de posibilidad, una muestra estará caracterizada por un conjunto difuso en particular por la mayor posibilidad de pertenecer al mismo.

Tabla 3. Tablas de contingencia representativas de la agregación difusa de todas las muestras para cada descriptor. Datos agregados y normalizados que indican porcentaje de posibilidad de pertenecer a un conjunto difuso. Resaltado en celeste, asociación de fila-columna con alto nivel de significación estadística (alfa 0,05) Dos columnas con el valor crisp agregado de cada atributo.

Table 3. Contingency tables representative of fuzzy aggregation of all samples for each descriptor. aggregated and normalized data indicating percent chance of belonging to a fuzzy set. Highlighted in blue, row-column association with high statistical significance (alpha 0.05) Two columns with crisp added value of each attribute.

Agregación	AG-c0	AG-c1	AG-c2	AG-c3	AG-c4	CO-c0	CO-c1	CO-c2	CO-c3	CO-c4	Aspecto general	Consistencia
M954	0	0	0	7	100	0	0	0	7	100	4,93	4,93
M632	14	2	16	33	59	15	16	18	46	31	3,97	3,49
M125	2	29	17	19	58	46	47	18	15	1	3,81	2,04
M471	43	5	30	31	16	0	1	19	74	33	2,79	4,10
M580	3	44	17	5	57	16	30	19	45	17	3,56	3,13
M369	0	4	57	7	57	16	29	5	58	18	3,94	3,25
M293	3	47	60	5	14	100	21	1	0	0	2,85	1,19

Los resultados de la prueba exacta de Metha *et al.* (1983) y Connelly (2016), para caracterizar cada atributo, permiten resaltar en la tabla, en celeste, el nivel de significación estadística de la asociación, para cada descriptor respecto a la muestra-conjunto posiblemente asociado.

Los resultados de las pruebas estadísticas se expresan indicando la probabilidad (p.value) de que un resultado específico pueda ocurrir por casualidad y no sea una diferencia real. Si un resultado ocurre por casualidad 5 de cada 100 veces, se dice que la probabilidad es de 0,05.

Por lo general, un resultado estadístico se considera significativo, solamente si tiene una probabilidad de 0,05 o menos. No es posible leer la tabla directamente, en este caso el análisis simultáneo de todas las muestras a través del Análisis factorial de Correspondencias Simple (AFCS), permite visualizar en un mismo mapa perceptual las mismas de manera comparativa (figura 4, pág. 244).

La proximidad de puntos, muestra la asociación por mayor porcentaje de posibilidad. Si una muestra se encuentra

entre dos características (muestra-conjunto difuso), esto indica que el mayor porcentaje de posibilidad se da en forma más o menos pareja entre esos dos conjuntos, por lo tanto ambas son características de esa muestra.

Visualmente el tamaño indica la calidad de representación en el mapa. La interpretación de un punto pequeño cercano al centro, indica que el mismo no está asociado a una característica en particular debido a presentar una distribución de posibilidad muy pareja para todas las características sin poder asociarla a alguna en especial.

Con alto nivel de significación, es posible validar la tendencia de que la muestra M471 es la de peor aspecto (c0), no así para la consistencia, la muestra más inconsistente es la M293.

Sin embargo, es posible observar que la muestra M471 también se acerca a un aspecto bueno, esto se debe a que la posibilidad es mayoritaria casi para ambos conjuntos (características), lo que refleja problema de entrenamiento de los jueces.

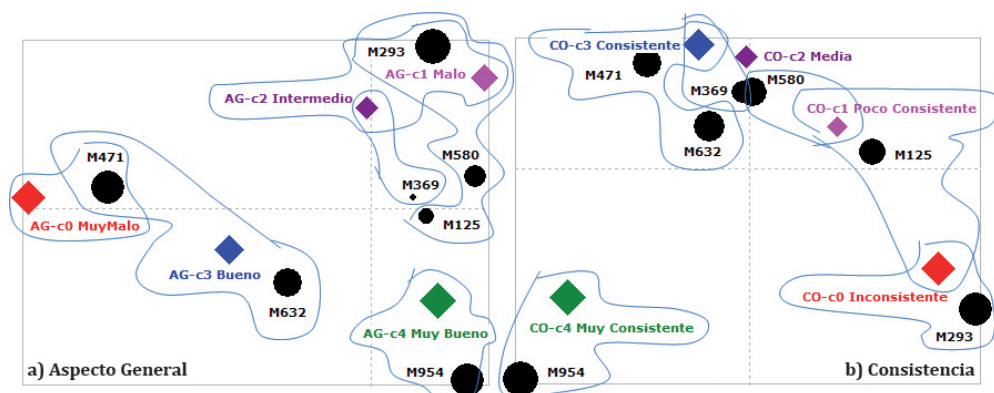


Figura 4. Mapa perceptual de la agregación borrosa de todas las muestras, comparativo del a) aspecto general y b) consistencia. Proximidad representa asociación, tamaño nivel de significación.

Figure 4. Perceptual map of fuzzy aggregation of all samples, comparison of a) general appearance and b) consistency. Proximity represents association, size and quality of representation and significance level.

Visualmente se puede observar en el plano de la figura 4a, cómo la muestra M471 se encuentra en el medio del aspecto muy malo y bueno, siendo su distribución de probabilidad mayoritaria para ambas características.

En cuanto a Consistencia no es posible validar una tendencia para la muestra M632, debido a la gran dispersión entre los jueces para valorar esta muestra, sin embargo se puede observar visualmente en el plano de la figura 4b, su proximidad al conjunto C³, lo que indica una muestra Consistente.

Para la interpretación de los mapas resulta de gran importancia el uso del "Valor Test", que se calcula a partir de la prueba exacta de Fisher, siendo la tabla normalizada a valores de 0 a 100, los resultados coinciden para la prueba del Chi²; (este valor refleja para valores mayores a 1,95 un nivel de significación de $\alpha = 0,05$, y para mayores de 2,58 un nivel de $\alpha = 0,01$).

En la tabla 4a (pág. 245), se sintetiza el perfil difuso de cada muestra, el valor de test indica la validez en la asociación de un

conjunto difuso a la muestra. En el caso de la muestra M471 se observa la asociación de un aspecto general tanto muy malo (c0) como bueno (c3), lo que refleja la división del panel y la imposibilidad de discriminar el aspecto de dicha muestra por la falta de una referencia. Sin embargo, el valor de test indica la tendencia de que el grupo mayoritario de jueces consideran la muestra de muy mal aspecto (AG-c0).

La tabla 4b (pág. 245), refleja las medias aritméticas de las muestras y el valor de test obtenidos a partir de una prueba de varianza de un factor a través de Fisher, las medias características. A pesar del nivel de significación estadístico, es posible observar que las medias están distorsionadas y no muestran la realidad, afectadas por la alta dispersión del panel de jueces en cuanto al aspecto de las muestras. Siguiendo con el ejemplo, la muestra M471 se caracteriza con alto nivel de significación por una media esperada de 2,8 en aspecto, muy alejado de la realidad que se expone en la tabla 4a (pág. 245).

Tabla 4. Comparativa del perfil difuso y clásico de las muestras de tomate. a) Conjuntos difusos asociados por muestras a partir del porcentaje de posibilidad validado por los valores de test; b) media aritmética esperada de los atributos sensoriales medidos por muestra y validada por el valor de test ($V_{Test} > 2 \alpha = 0,05$).

Table 4. Comparison of fuzzy and classical profile samples tomato. a) Fuzzy sets associated with samples from the percentage of possible values validated by test; b) expected arithmetic average of the sensory attributes measured per sample and validated by the test value ($\sqrt{V_{Test}} > 2 \alpha = 0.05$).

a)				b)			
Conjunto difuso	% posibilidad	Valor-Test		Variables características	Media esperada	Valor-Test	
M954				M954			
CO-c4	47	14,26	***	Aspecto general	4,9	29,91	***
AG-c4	47	9,05	***	Consistencia	4,9	24,96	***
M471				M471			
AG-c0	17	9,44	***	Consistencia	4,1	14,75	***
CO-c3	29	6,77	***	Aspecto general	2,8	-22,86	***
AG-c3	12	3,85	***	M632			
M632				Aspecto general	4,0	7,85	***
AG-c3	13	4,37	***	Consistencia	3,5	5,49	***
M369				M369			
AG-c2	23	5,47	***	Aspecto general	3,9	7,13	***
CO-c3	23	4,01	***	Consistencia	3,3	1,94	**
M580				M580			
AG-c1	17	5,51	***	Aspecto general	3,6	-2,89	***
CO-c1	12	2,01	**	M125			
M125				Aspecto general	3,8	3,78	***
CO-c1	19	5,48	***	Consistencia	2,0	-16,39	***
CO-c0	18	3,37	***	M293			
AG-c1	12	2,41	**	Aspecto general	2,9	-21,01	***
M293				Consistencia	1,2	-29,26	***
CO-c0	40	13,30	***				
AG-c1	19	6,22	***				
AG-c2	24	5,92	***				

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, constituyen un instrumento de mejora a la evaluación sensorial, optimizando la obtención de perfiles de calidad sensorial del alimento.

La descripción de propiedades sensoriales de los productos es complicada, incluso para los expertos, ya que

pueden utilizar diferentes variables y ponderaciones. Sin dudas, inclusive, describen herramientas complementarias que aportan mucha información en cuanto al estudio del producto vegetal en fresco, mínimamente procesado o procesado. Entre ellas, un análisis de la dinámica y

evolución de atributos relacionados con la calidad sensorial, estudio de factores influyentes y modelización de su comportamiento a través de la lógica borrosa. Lo propuesto se considera una base inicial de futuros trabajos generadores de nuevas metodologías instrumentales para la determinación de atributos de calidad, adaptación de tecnologías existentes, y desarrollo de nuevos dispositivos para uso en laboratorio o en línea.

Quedan en evidencia las propiedades ventajosas del uso de números borrosos y métodos multivariados: el proceso de borrosificación y agregación borrosa, es apropiado para calcular similitudes cuando las características que se miden involucran variables de diferente naturaleza (cuantitativa, cualitativa, binaria, textual). Los "números borrosos" son capaces de captar por sí mismos la vaguedad lingüística de palabras y frases comúnmente aceptadas en los estudios sensométricos, como "bastante intenso", "algo aceptable" o "ligero cambio". Se logró representar información que casi siempre es poco precisa, de manera más apropiada y que facilita la convergencia del lenguaje hacia significados compartidos. Permite lograr mayor precisión y detalle en el análisis multivariado de datos, sin que las valoraciones atípicas, afecten los resultados. También, la metodología

propuesta ayuda a determinar en qué atributos hay mayores discrepancia, lo cual permite planificar el entrenamiento del panel concentrándose en los descriptores relevantes. Otra característica es que es posible trabajar con datos faltan observaciones de algunas variables, sin implicar que se suprima de todo el vector que representa a la unidad muestral. Finalmente, los resultados obtenidos confirma que los "valores test" basados en la prueba de Fisher, constituyen una herramienta rápida para la interpretación y validación de los resultados de análisis factoriales.

Se puede afirmar que el empleo del Análisis Multivariado a partir de valoraciones borrosas, plantea un nuevo paradigma en la sensometría, y enriquece el proceso de análisis sensorial de un alimento constituyendo un instrumento de observación apropiado, facilitando la explotación de datos sensoriales. Queda abierta la discusión sobre la metodología planteada y se requiere profundizar acerca de las dispersiones de las funciones de pertenencia, las correlaciones de dichas funciones, etc. Lo dicho lleva a proponer nuevas líneas de investigación como la orientada a la forma de estimar de manera objetiva, los parámetros de la variable lingüística en función de las valoraciones, diseñando variables lingüísticas a la medida de cada estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ávila de Hernández, R. M.; González-Torrevilla, C. C. 2011. La evaluación sensorial de bebidas a base de fruta: una aproximación difusa. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 15(60): 171-182.
2. Barda, N. 2011. Análisis sensorial de los alimentos. *Fruticultura & Diversificación*. Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210470.pdf>
3. Bécue-Bertaut, M., Salazar, B. C.; Vinué, P. F. 2009. Extensión del análisis factorial múltiple jerárquico a datos textuales: Aplicación en sensometría. In XXXI Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa; V Jornadas de Estadística Pública: Murcia, 10-13 de febrero de 2009: Libro de Actas. p. 27.
4. Bonissone, P. P.; Decker, K. S. 2013. Selecting uncertainty calculi and granularity: An experiment in trading-off precision and complexity. arXiv preprint arXiv: 1304.3425.

5. Césari, M.; Rodríguez, D.; Rancan, C.; Merlino, H.; Britos, P. V.; García Martínez, R. 2008. Métodos iconográficos de observación, exploración y comunicación aplicados a la minería de textos. In X Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. 5 p.
6. Césari, R.; Césari, M. 2012. Material pedagógico de cursos de postgrado en métodos para analizar datos como soporte a la investigación en ingeniería, Capítulo 03: "Las técnicas del análisis multivariado de datos" y Capítulo 04 "Procedimiento de descripción y validación estadística", Maestría en Medio Ambiente de la UNCuyo y Especialización en Redes de Datos de la FRM, UTN, Mendoza, Argentina.
7. Connelly, L. M. (2016). Fisher's exact test. *MedSurg Nursing*. 25(1): 58-60.
8. Debjani, C.; Das, S.; Das, H. 2013. Aggregation of sensory data using fuzzy logic for sensory quality evaluation of food. *Journal of food science and technology*. 50(6): 1088-1096.
9. Díaz, S. P.; Fernández, S. P. 2004. Asociación de variables cualitativas: el test exacto de Fisher y el test de McNemar. *Cuadernos de atención primaria*. 11(5): 304-308.
10. Espinilla, M.; Martínez, L.; Pérez, L. G. 2008a. A linguistic multigranular sensory evaluation model for olive oil. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 1(2): 148-158.
11. Espinilla, M.; Martínez, L.; Pérez, L. G.; Liu, J. 2008b. Modelo de evaluación sensorial con información lingüística multigranular para el aceite de oliva. XIV Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica fuzzy. Cuencas Mineras (MieresLangreo). p. 249-255.
12. Ferreira, M. S.; Santos, M. C.; Moro, T. M.; Basto, G. J.; Andrade, R. M.; Gonçalves, É. C. 2013. Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. *Journal of food science and technology*. 52(2): 822-830.
13. Fiszman, S. 2005. Análisis sensorial aplicado a la evaluación de las frutas y hortalizas cortadas. nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC, Hermosillo. México.
14. Greenacre, M. 2007. Correspondence analysis in practice. Second Edition CRC Press, 7 may. 2007. 296 p.
15. Greenacre, M. 1994. Correspondence analysis and its interpretation. *Correspondence analysis in the social sciences*. 3-22.
16. Guerrero, L.; Guardia, M. D. 1998. Evaluación de la fiabilidad de un panel de cata. III Jornadas de Análisis sensorial. Valdediós, Villaviciosa, Asturias.
17. Guillaume, S.; Charnomordic, B. 2012. Fuzzy inference systems: An integrated modeling environment for collaboration between expert knowledge and data using FisPro. *Expert Systems with Applications*. 39(10): 8744-8755.
18. Langrand, C.; Pinzón, L. M. 2009. Análisis de datos: métodos y ejemplos. C. S. Perdomo (Ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garabito, Bogotá, Colombia. 388 p.
19. Lebart, L. 2007. DTM. Data and Text Mining, Software Estadística Exploratoria Multidimensional para datos complejos que incluyen datos numéricos y textuales. Disponible en: <http://ses.telecom-paristech.fr/lebart/>
20. Liébana, F. J. E. 2013. Modelo de evaluación sensorial para el aceite de oliva basado en una nueva escala lingüística no balanceada. Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación. Universidad De Jaen. Disponible en: http://sinbad2.ujaen.es/cod/archivosPublicos/dea/TTII_Estrella.pdf
21. Little, R. J.; Rubin, D. B. 2014. Statistical analysis with missing data. John Wiley & Sons.
22. Loyola, N.; Acuña, C.; Fuentes, D.; Arriola, M. Production of cured, voided meat sausage with apple pomade added (*Malus domestica*) and its impact in nutritional and sensorial values. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 50(1): 249-262.
23. Martínez, L. (2007). Sensory evaluation based on linguistic decision analysis. *International Journal of Approximate Reasoning*. 44(2): 148-164.
24. Mehta, C.; Patel, N. R. 1983. A network algorithm for performing Fisher's exact test in $r \times c$ contingency tables. *J. Amer. Statist. Assoc.* 78: 427-434.
25. Pattee, H. E. 2014. Evaluation of quality of fruits and vegetables. Springer, 14 nov. 2014. 428 p.

26. Ponce-Donoso, M.; Vallejos-Barra, O. 2016. Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 195-208.
27. Stone, H.; Bleibaum, R.; Thomas, H. A. (Eds.). 2012. *Sensory Evaluation Practices.* Academic Press, 4th Edition. 448 p.
28. Torres, J. G.; Busto, O.; Mestres, M. 2011. Nariz electrónica. *Aplicaciones enológicas. ACE: Revista de enología.* 126: 3.
29. Upton, G. J. 1992. Fisher's exact test. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (Statistics in Society).* 395-402.
30. Xlstat versión 2015, licencia para investigación. add-in de análisis estadístico para Microsoft Excel desarrollada por Addinsoft 1996-2016. Disponible en: www.xlstat.com/es/products/xlstat-pro/
31. Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets. *Information and control.* 8(3): 338-353.
32. Zadeh, L. 2014a. *Computing with Words: Principal Concepts and Ideas.* Springer Publishing Company.
33. Zadeh, L. A. 2015. The information principle. *Information Sciences.* 294: 540-549.
34. Zadeh, L. A.; Fu, K. S.; Tanaka, K. (Eds.). 2014b. *Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes: Proceedings of the US-Japan Seminar on Fuzzy Sets and Their Applications, Held at the University of California, Berkeley, California, July 1-4, 1974.* Academic press.
35. Zimek, A.; Schubert, E.; Kriegel, H. P. 2012. A survey on unsupervised outlier detection in high-dimensional numerical data. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal.* 5(5): 363-387.
36. Zimmermann, H. J. 2014. *Fuzzy Set Theory-and Its Applications* 3. Springer Publishing Company, 435 p.

Production of cured, voided meat sausage with apple pomade added (*Malus domestica*) and its impact in nutritional and sensorial values

Elaboración de embutido cárnico curado sellado al vacío con pomasa de manzana (*Malus domestica*) y su valoración nutricional y sensorial

Nelson Loyola, Carlos Acuña, Diego Fuentes, Mariela Arriola

Originales: *Recepción: 26/08/2015 - Aceptación: 19/09/2016*

ABSTRACT

The research was to compare 4 treatments with different percentages of vegetable fiber added, replacing animal fat, determining objectives, to use apple pomade as source of fiber in replace to meat sausage pork fat, assessment of nutritional recovery as fiber, fats, sugars and phenols; sensory attributes acceptability evaluate the presence of coliform bacteria, the sausage of pork including pomade apple (*Malus domestica*). The treatments were evaluated according to the goals set during the days 2, 15 and 30, to be processed, the results of nutritional analyzes showed differences in treatments with higher content of pomace, increasing the amount of fiber and mainly by decreasing the content fat. Regarding perceived by trained panelists thirteen observed differences in evaluating sensory attributes such as texture and acceptability of processed sausages when as much pomade apple was used. The results of microbiological analyzes met the requirements of the sanitary regulation of food Chile. The addition until 3% of apple pomade exhibited a higher score on the acceptability of the product.

Keywords

meat sausages • apple pomade • vegetable fiber

Department of Agricultural Sciences. Faculty of Agricultural and Forestry Sciences. Catholic University of Maule. Carmen 684. Curico. Chile.
nloyola@ucm.cl. nelsonloyola@hotmail.com

RESUMEN

La investigación consistió en comparar 4 tratamientos con diferentes porcentajes de fibra vegetal adicionada, en reemplazo de la grasa animal, determinando como objetivos, utilizar pomasa de manzana como fuente de fibra y reemplazo de grasa animal en embutidos de cerdo, valorización nutricional; fibra, grasas, azúcares y fenoles; atributos sensoriales y aceptabilidad; presencia de bacterias coliformes, del embutido de carne de cerdo con inclusión de pomasa de manzana (*Malus domestica*). Los tratamientos fueron evaluados según los objetivos planteados durante los días 2, 15 y 30, de ser elaborados, los resultados obtenidos en los análisis nutricionales demostraron diferencias en los tratamientos con mayor contenido de pomasa, aumentando la cantidad de fibra y disminuyendo principalmente el contenido de grasa. En relación con lo percibido por los trece panelistas entrenados, se observaron diferencias al evaluar atributos sensoriales como la textura y la aceptabilidad de los embutidos elaborados, cuando se utilizó la mayor cantidad de pomasa de manzana. Los resultados de los análisis microbiológicos cumplieron con lo exigido por el reglamento sanitario de los alimentos de Chile. La adición de hasta un 3% de pomasa de manzana fue sensorialmente aceptada en el producto.

Palabras claves

embutidos de carne • pomasa de manzana • fibra vegetal

INTRODUCTION

Meat really constitutes an important component of any diet in the western hemisphere, although it is not compulsory due to the economic problems that affect some groups of people.

The principles that rule the engineering processing of food are the same ones used in any other field of engineering (9). The improvement and search of the quality of meat products is the main objective and it should be focused mainly on raw material. The same characteristics can not be searched for a meat to be eaten after cooked than that to be used in the production of sausages (22).

Raw and cured meat sausages are products that traditionally were used for meat preservation through fermentation and dryness. In general, they are produced through the cutting of meat and fat, to

which authorized condiments are added, to later undergo a ripening process (6).

At present, it is intended to enlarge the period of time in which any food is ready to be eaten, as well as increasing a diet variety by widening the amount of flavors, colors, aromas and textures, offering the necessary nutrients for good health conditions and for the seeking of benefits for the producer (7).

Different organizations recommend fat and sodium reduction, so that they might not exceed the 30% of the requirements established and no more than 10% of such fat is saturated (8).

The introduction of fiber to a meat sausage seems a good idea to contribute to its added value, thus to increase its population consumption, favoring and helping in the digestive process in human

beings. The addition of apple pomade seems a good alternative in the fiber contribution, so that it is treated in such a way to obtain an insipid and odorless final product, due to the maximum usability of apples for the extraction of juice and aroma.

As a hypothesis it was considered that the addition of apple pomade to pork meat sausage would increase the content of fiber and would improve its texture and its sensorial acceptability, keeping its innocuousness as a food.

To sustain such hypothesis, it was determined as a main objective, to use apple pomade as source of fiber in replace to meat sausage pork fat, to evaluate the nutritional, sensorial and microbiological appraisal of the pork meat sausage with apple pomade added.

The specific objectives were to evaluate the effects of apple pomade over the nutritional appraisal, the contents of fiber, fat, sugar and phenols in pork meat sausages; to identify total coliforms in the sausages produced; to verify the microbiological requisites of *Salmonella* sp. and *Staphylococcus aureus* established in the chilean sanitarian rules for food; and to evaluate sensorial attributes such as: color, flavor, texture and level of acceptability of the sausages produced.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in the laboratory of basic sciences at the Catholic University of Maule, Campus "Nuestra Señora del Carmen", located in the region of Maule, Carmen 684, Curicó province, Chile, 684 Carmen St., 34°59'1.9278" S latitude and 71°14'19.701" W longitude.

Pork meat and fat were obtained with sources offered by the "Centro de Alimentos Procesados (CEAP)".

Fat content of pork 7% and fat were compared in a national network of supermarkets, with a temperature of 2°C, aroma and pinky color without signals of rancidness. Later, they were washed, weighed and cut into pieces to grid and mix it so as to obtain the final mass of the sausage.

The Tamix® product is a base mixture for the preparation of sausages, in this case, grilled sausage, that contain all the necessary ingredients to offer color, flavor and necessary preservers. The ingredients were natural condiments, such as: cayenne peppers, garlic, wild marjoram, soya fiber, polyphosphates, flavor suppliers, dextrose and sodium erythorbate. Their physico-chemical specifications are: 16% salt; allergens produced in lines where soy, whey (milk) and flour (gluten) are processed.

According to Codex 1999 (a) and 2013, sodium erythorbate is used as an antioxidant agent in the food industry because it helps to maintain food color and flavor, as well as to enlarge the storage time without any kind of toxicity and side effects.

Pig's bowels were obtained with sources granted by the CEAP that bought it to Tagler Food®. Natural bowels highlight qualities such as possessing a similar size with almost no microbiological weight due to the long-time curing.

Apple pomade was obtained in Agrozzi enterprise, which is engaged in the production of juice, located in Teno, Curicó province, latitude 34°52'38" S and longitude 71°08'45" West. Later it was dehydrated in an oven, brand Binder, model FD 115 at 65°C for 48 hours and it was shredded in a mixer brand Somela, model BL1900.

The mass of meat was mixed and made an homogeneous mass; 80% meat, 3% fat, 16% water, 0.5% Tamix®, 1.5% salt to produce the sausage and after a generic

meaty base was obtained for all treatments of 6.28 kg, then percentages assigned for each treatment were completed for the filling of the sausages, according to the treatments assigned. Once the filling finished up, about 70 g of each piece of grilled sausage were hanged up for 24 hours in the same laboratory in which they were produced at an environmental temperature of 25°C and 55 to 60% of relative humidity, to get airy and cured.

The pieces of previously selected meat were cut into smaller pieces of about 5 to 10 cm, they were washed with clean water and later they were frozen at a vertical freezer brand Fensa, model FFV 4765 during 24 hours at -5°C to reduce its pollution. The cutting was carried out to make the grinding process easier.

Meat and fat were grinded separately so as to dose each ingredient, according to the assigned treatment. The grinding process was carried out with a small meat grinder brand Porkert®, horizontal knife, with a 3 mm disc.

The addition of ingredients: water, salt, Tamix® and apple pomade was carried out after the grinding process. It consisted on incorporating all ingredients and on mixing the mass to later produce the sausage.

The curing process was carried out for 24 hours with environment light and temperature around 25°C, in the basic sciences laboratory. The storage was in a cold place at 2°C and 90% relative humidity during 30 days, simulating those conditions found in supermarket shelves.

Parameters evaluated

For sensory analysis

Two sensorial evaluations were carried out 30 days after its production to diminish the variability of results, once the required storing days have passed by.

The degree of intensity of the evaluated attributes, color, aroma, flavor and texture were determined through a non-structured chart; besides the level of acceptability was evaluated through a structured chart with a 1 to 9 defined scale. At the time to carry out each sensorial evaluation and to measure the perception degree of organoleptic attributes, each of thirteen was given 10 g samples, previously cooked in boiling water at 100°C during 60 seconds; they were offered in a small white plate. In general, each panelist was given a first chart for sensorial evaluation and another chart to measure the level of acceptance of the final product. These charts allowed panelists to offer their final perceptions (21).

To get down each panelist's opinion, they were asked to tick each attribute with a line over the horizontal one of 13 cm long, according to the degree of intensity observed; being the least intense the left border of the line and more intense the right border of the line.

To measure the general level of acceptability of the final product, based on all samples given and after getting a first impression, they were asked to state their likes and dislikes about each sample, according to a structured sensorial chart evaluation. For that reason, panelists were asked to circle from 1 to 9, to show their level of acceptance of the product, from 1 "I do not like it very much" to 9 "I like it very much" (14).

Determining the amount of fat

It was carried out through Soxhlet method, with previously dehydrated samples in an oven brand Binder, model FD-115 at 105°C for 6 hours. It consisted on a semi-continuous extraction with an organic dissolving item (ethyl ether P.E. 40-60°C and Petroleum ether P.E. 40-60°).

The fat content is quantified by the difference in weight between the product analyzed, which was weighed before the fat extraction and after the process finished (17).

Determining the vegetable fiber

It was carried out through a gravimetric method, according to the Instituto de Salud Pública de Chile (ISP) (2009), with previously dehydrated samples in an oven brand Binder, model FD-115 and defatted with sulphur acid, in a digester of fiber brand Velp Scientifica, serial Five, which eliminated the rest of the amount of fat from the sample, then it was incinerated in an oven brand Omega, serial LMF at 500°C for 12 hours.

Determining the amount of sugar

It was carried out through the Luff-Schoor method (12), with previously dehydrated samples in an oven brand Binder and defatted, where the amount of simple and complex sugar in food could be observed, in values expressed in g /100 g of product. At the beginning sugar is dissolved in Ethanol dissolved in water and after it is free from alcohol, they were analyzed through the already-mentioned method, before and after the investment, obtaining results by titration.

Determining the phenolic compounds

The Folin-Ciocalteu test has been used for years to measure the content in total phenol compounds in natural products. However, the main mechanism this method is a reduction reaction, thus it can be considered as a method to measure the total antioxidant activity (23).

To measure total phenol, expressed in mg equivalent to gallic acid* 100 g⁻¹ of the product, it was designed a calibrating curve with different concentrations 0.005;

0.01; 0.015; 0.02 and 0.025 mg of gallic acid per ml, measuring its absorbance with a wavelength of 760 nm in an UV-visible spectrophotometer, brand PerkinElmer.

Presence of pathogenic microorganisms

It was carried out through a series of microbiological tests, where the presence of total coliforms was determined through the chilean norm 2635/2, made official in 2001. The observation of the presence of *Staphylococcus aureus* was made through the chilean norm 2671, officially made in 2002 and the observation of the presence of *Salmonella sp.* was made through the chilean norm 2675, made official in 2002; all of them were analyzed in the microbiological laboratory. The samples were carefully labeled to avoid confusions in the results (16).

Experimental design

The study used a block design completely carried out at random (DBCA) for the evaluation of nutritional properties, with a 95% level of confidence, being the blocks the moments of its production and being the amount the pomade added the main factor.

The experimental unit was a meat sausage of about 62 g, of a total amount of 1,240 g for each treatment.

For the sensorial evaluation of organoleptic attributes, there was a design completely carried out at random, with a 95% level of confidence, under an ANDEVA factorial varietal test of a factor with repeated measures, and being the amount the apple pomade added the main factor.

Later, an exploratory test of data was carried out, considering elements such as averages, standard deviation, minimum rates and maximum rates as well as graphs; besides, methods of multiple comparisons were carried out through the Tuckey method ($p > 0.05$).

Four treatments were carried out; a witness one called T_0 and three testing treatments called T_1 , T_2 , T_3 . The experimental unit was 62 g, with three replicates per treatment, with different doses of apple pomade, animal fat and Tamix®, detailed in table 1.

DISCUSSION OF RESULTS

Fiber content

The results obtained from the evaluations carried out in all treatments to the content of fiber are shown in figure 1 (page 255).

Values show amount of vegetable fiber contained in the sausages obtained. According to the treatments assigned, based on a dried weight, where a great amount of the content of fiber is shown, expressed in percentages in the sausages that had a contribution of apple pomade, especially in treatments T_1 , T_2 and T_3 , contrasting the sausage with T_0 which had not contribution of apple pomade. Aloida *et al.* (2008) found something similar and said that the contribution of soya fiber in meat products preserve its fiber percentage at the time to analyze its

treatments, due to its capacity and role to retain liquid and, different from other retaining elements. Besides, vegetable fiber is not soluble in water or fat. Mahawar *et al.* (2012), state that the amount of fiber contained in the apple pomade is near to 2.5% in wet weight.

The percentage of the fiber value increases when apple pomade is dehydrated; it happened in the present research because the dried weight is between 25 and 30% of the wet weight of the apple pomade.

Content of total sugar

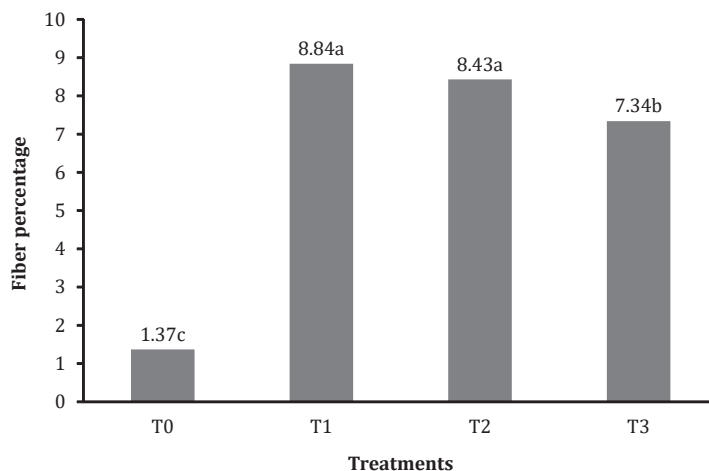
The results obtained in the tests carried out in the treatments in regards to the content of sugar are shown in figure 2 (page 255).

The biggest amount of total contents of sugar contained in sausages was obtained in those ones produced in treatments T_1 , T_2 and T_3 , in contrast with sausages produced in treatment T_0 , with minor quantities. For that reason, it is possible to say that the biggest amount of total content of sugar contained in each sausage was closely related to the amount of apple pomade added in each treatment.

Table 1. Detail of the treatments assigned for the production of sausages.

Tabla 1. Detalle de los tratamientos asignados para la elaboración de embutidos.

	Treatments
T_0	Sausage produced with 70% of pork meat, 10% of animal fat, 16% of water, 2.5% of Tamix® for grilled sausage, 1.5% of salt.
T_1	Sausage produced with 70% of pork meat, 3% of animal fat, 16% of water, 2.5% of Tamix® for grilled sausage, 1.5% of salt, 7% of apple pomade.
T_2	Sausage produced with 70% of pork meat, 5% of animal fat, 16% of water, 2.5% of Tamix® for grilled sausage, 1.5% of salt, 5% of apple pomade.
T_3	Sausage produced with 70% of pork meat, 7% of animal fat, 16% of water, 2.5% of Tamix® for grilled sausage, 1.5% of salt, 3% of apple pomade.

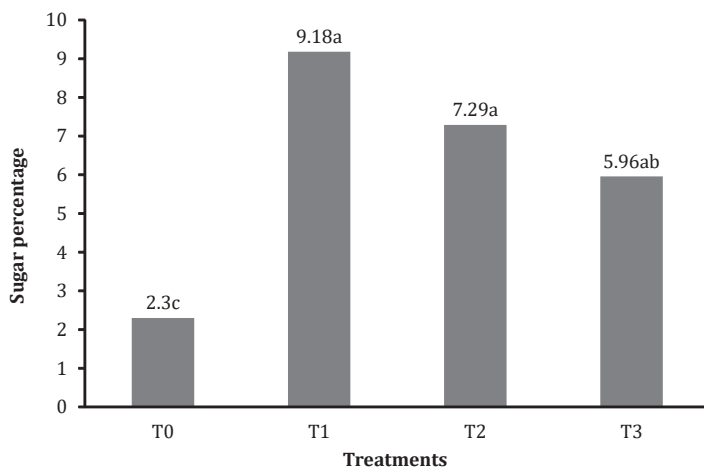


* Different letters show significant statistical differences ($p = 0.05$).

* Letras distintas muestran diferencias estadísticas significativas ($p = 0,05$).

Figure 1. Results with average values obtained in the content of fiber per treatment.

Figura 1. Resultados con valores promedios en la medición del contenido de fibra por tratamiento.



* Different letters show significant statistical differences ($p = 0.05$).

* Letras distintas muestran diferencias estadísticas significativas ($p = 0,05$).

Figure 2. Average values of the results obtained in the tests carried out to know the total content of sugar for each treatment.

Figura 2. Resultado con valores promedios obtenidos en la medición del contenido azúcares totales por tratamiento.

According to Mahawar *et al.* (2012), after measuring the nutritional values of the apple pomade, 3.6 g of sugar were obtained in 100 g of pomade, according to test carried out in such research; besides identifying pectins, carbohydrates, celluloids and proteins. For that reason, they pointed out that the apple pomade is considered to be a high nutrient source.

At the same time, Queji *et al.* (2010), stated that the composition of sugar in apple pomade is a kind of the simple type; fructose, glucose and sucrose, with a value near 40% of the total amount of soluble solids.

In the present scientific work, according to the evaluations carried out on the sausages produced, the total amounts of sugar were found out, either simple or complex kinds of sugar, ratifying the major amounts of total sugar associated to sausages produced in treatment T_1 due

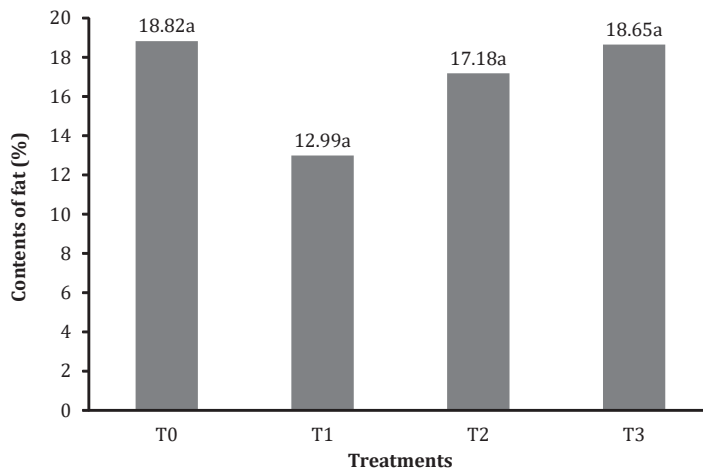
to the highest amount of pomade it had (figure 2, page 255).

Contents of fat

According to the results obtained in the tests carried out in sausages in regards to the content of fat, there was a little tendency but not significant to a higher amount of fat in those sausages that had less contribution of apple pomade in its production, as in the treatment T_0 (figure 3).

The sausages produced in treatment T_1 , which had a higher contribution of apple pomade in its production apparently showed the least content of fat, but it was not significantly different.

In this sense, in spite of adding apple pomade to the sausages produced, there was no variation in the contribution of the total amount of fat, and no statistical difference was found among the sausages independently produced in the different treatments.



* Different letters show significant statistical differences ($p = 0.05$).

* Letras distintas muestran diferencias estadísticas significativas ($p = 0,05$).

Figure 3. Average values of the results obtained in the measurement of fat per treatment.

Figura 3. Resultados con valores promedios obtenidos en la medición del contenido de grasa por tratamiento.

Content of phenol

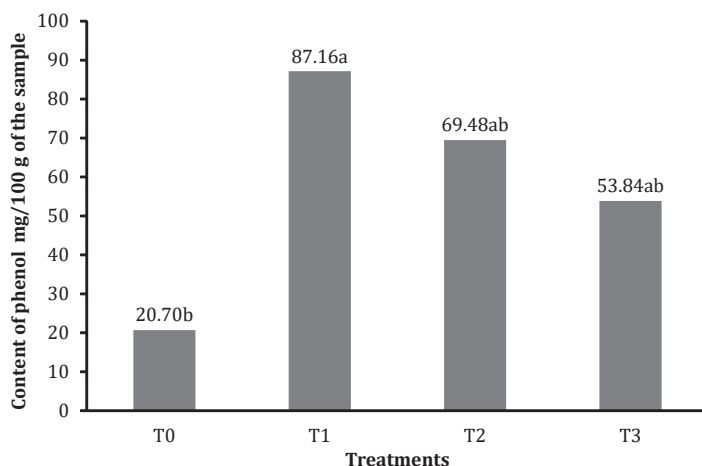
The results obtained in the tests carried out in the treatments in regards to the content of phenol are shown in figure 4.

In the measurement of the total content of phenol, with a wave length of 760 nm, there was statistical difference in the content of phenol because of the values obtained according to different homogeneous subgroups by the Tukey test.

The increase in the content of phenol was possible due to the amount of apple pomade added to the sausages in each treatment and it is related with Preedy *et al.* (2013), who pointed out, it would be possible because these elements are only found in plants and vegetable, confirming the results obtained in the present research. This would explain that the sausages produced in treatments T₁, T₂ y T₃ had a higher amount in the content of phenol.

In regards to the sausages produced in treatment T₀, which had no contribution of apple pomade, the small amount of phenol found was mainly because of the contribution of vegetable fiber from Soya Tamix® had, it has direct coincidence with what was previously stated.

The total yielding of phenol, after a test carried out with pure apple pomade is in the range of 200 y 300 mg/100 g, being higher than the amounts obtained in the present research, what probably happened at the time it was cropped and due to the level of ripeness of the apple used and of pomade obtained, as well as because of the mixture used in each treatment (18).



* Different letters show significant statistical differences ($p = 0.05$).

* Letras distintas muestran diferencias estadísticas significativas ($p = 0,05$).

Figure 4. Average values of the results obtained in the tests carried out to know the content of phenol for each treatment.

Figura 4. Resultado con valores promedio obtenidos en la medición del contenido de fenoles por tratamiento.

General acceptability

The results obtained in the for sensory analysis, showed a higher level of acceptance by panelists for sausages produced in treatments T_0 and T_3 , with values 7.5 "I lightly like it" and 7.7 "I like it very much" (figure 5).

Additionally sausages produced in treatments T_1 and T_2 , were the ones that showed the highest contents of fiber and sugar, as well as of an increase in the contents and phenol; therefore, that treatment (T_1, T_2) did not show good acceptance by the panelists all this was reflected in the best evaluations panelists made to such products and their level of acceptance (figure 5).

For panelists, the sausages obtained in treatments T_1 and T_2 obtained the lowest marks with values of 5.5 "I neither like it nor dislike it" and 5.95 "I lightly like it".

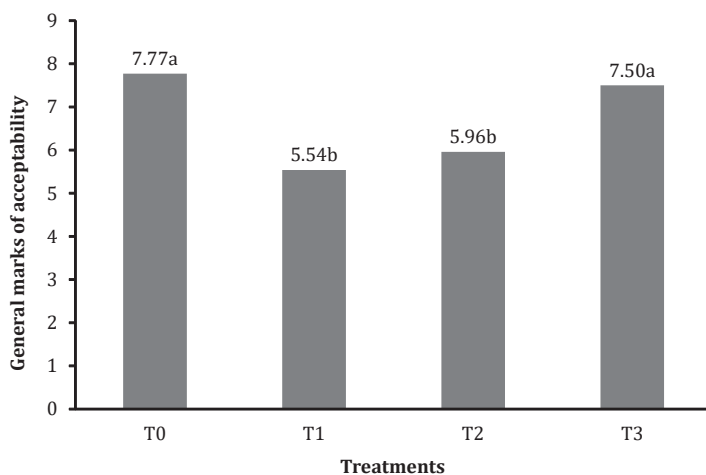
The lowest mark by panelists was given to the brown-red color and to the texture of the sausages produced in treatments T_1

y T_2 , considered to be granular, because the apple pomade retains a big amount of water of the mass produced, provoking a sensation of dryness in the mouth.

Sausages with the highest levels of acceptability were produced in treatments T_0 without apple pomade and T_3 that contained the lowest amount of apple pomade, coinciding with the perceptions of organoleptic attributes, being the attributes color and texture the most controversial aspects because they vary according to the amount of vegetable fiber added (table 2, page 259).

Organoleptic attributes

Average values of the results obtained in the sensorial evaluations of color, aroma, flavor and texture are shown in table 2 (page 259).



* Different letters show significant statistical differences ($p = 0.05$).

* Letras distintas muestran diferencias estadísticas significativas ($p = 0,05$).

Figure 5. Average values of the results obtained in the sensorial evaluations carried out with a structured primer to know the general levels of acceptability.

Figura 5. Resultados promedios por tratamientos obtenidos en la evaluación sensorial con la cartilla estructurada de aceptabilidad general.

Table 2. Average values of the results obtained in the evaluations of sensorial attributes.

Tabla 2. Resultados promedios por tratamientos obtenidos en la evaluación de atributos organolépticos.

		Color	Aroma	Flavor	Texture
		Media	Media	Media	Media
Treatments	T ₀	4.65 a	8.07 a	8.46 b	5.00 a
	T ₁	8.34 b	6.15 a	6.69 a	8.85 b
	T ₂	6.73 ab	8.27 a	8.04 ab	7.89 b
	T ₃	5.27 ab	8.69 a	8.73 b	5.77 a

* Different letters show significant statistical differences (p = 0.05).

* Letras distintas muestran diferencias estadísticas significativas (p = 0,05).

Color attribute

There were significant differences between sausages produced in treatments T₀ and T₁ (p = 0.038) and perceived by panelists, referred to the attribute color, pointing out that those sausages in treatment T₀ showed a lighter color, almost pinky and those produced in treatment T₁ a color near red. It would possible due to the dark tone the meat mass was turned to, which depended on the amount of fiber contributed by apple pomade.

The coffee-like color adopted by the fiber was due to the lack of water in its vegetable tissues, causing a darkening in its vegetable tissues, which is transferred, in a great extent, to the food where it is added to, provoking a darkening of the original color. A clear example about it is shown in cereals of the "flakes" kind to which fiber is added (8).

In spite of including Tamix®, it is normal that the product produced may adopt a coffee-like color, produced by the darkening of the fiber, because knowing that one of the functions of the perseverant that contains Tamix® is to highlight the red coloring of meat as it helps myoglobin, an exclusive element of blood, to fix oxygen and to highlight the red color

which is typical of fresh meat (2). In the present research, what was also observed by Bazán (2008), it was confirmed that Tamix® support the red color of meat therefore does not help to eliminate the brown darkening of the vegetable fiber.

Aroma attribute

For aroma attribute, there were not observed statistical differences among treatments (table 2). Panelists graded this attribute as intense in sausages, probably associated to the amount of fat in the products elaborated. This could be the reason why panelists perceived an intense aroma, but they did not associate it with the addition of fruits such as apples. These results do not coincide with what Salas and Olivas (2011), who described and stated that apples produce volatile chemical compounds which are responsible of the characteristic aroma of the fruit.

Flavor attribute

Flavor attribute in sausages was perceived in a different way by panelists during the evaluation process, observing significant differences among sausages produced in treatment T₁ and those in treatments T₀ and T₃ (p = 0.028 and p = 0.029), respectively.

Sausages produced in treatments T_0 and T_3 were perceived by panelists with an "intense flavor", in contrast with sausages produced in treatment T_1 that were characterized as "insipid", mainly due to the fiber content of apple pomade added. As Salas and Olivas (2011) pointed out, flavor includes flavor itself and aroma, explaining for the present research, that the variation of the amount of ingredients added to sausages would be responsible of the flavor perceived.

Texture attribute

In regards to texture, panelists did not perceive differences in sausages from treatments T_0 and T_3 ($p = 0.2$), as well as for those sausages in treatments T_1 and T_2 ($p = 0.121$). Those meant there were no statistically significant (table 2, page 259). Sausages in treatments T_1 and T_2 were evaluated with a "more granular texture", different to sausages from T_0 and T_3 that were evaluated with a "soft texture".

According to Aloida *et al.* (2008), fibers are soluble in water and fat, which flavors the retention of liquids, affecting and influencing in the texture of the product, thus if the amount of fiber increases, then the hardness of the product would also increase.

According to what has been stated by the already-mentioned authors, panelist could find differences in texture in the sausages, especially in those in treatments T_1 and T_2 with T_3 , finding in each case differences associated to possibilities to chew and swallow the product, being those from treatments T_1 and T_2 the most difficult ones, which were, at the same time, those of a least level of acceptance, according to what was explained before; panelists granted average marks of 5.5, selecting the product evaluated in the category "I neither like it nor dislike it".

Determining *Salmonella sp.*

From the microbiological point of view, all sausages tested showed an absence of the *Salmonella* bacteria. According to Ministerio de Salud de Chile (2008), through the sanitary requirements of food (not shown data).

Recounting *Staphylococcus aureus*

According to Ministerio de Salud de Chile (2008), through the sanitary requirements of food, in the chapter related to microbiological specifications raw dried beef, norms rule that this group of food should have a given value for the presence of *S. aureus*, minor to 10^2 ufc/g (<10 ufc/g), through which this kind of food could not be risky for health. In this test the sanitary requirements of food were accomplished.

Recounting total mushrooms, yeast and coliforms

Recounting total mushrooms, yeast and coliforms showed the presence of Colony Forming Units (CFU), exceeding 1.0×10^3 ufc/g in coliforms and 7.5×10^5 ufc/g in mushrooms and yeast.

No matter Codex Alimentarius (1999) is aimed at recommending international microbiological criteria, but governments could choose and adopt international microbiological criteria from Codex in their national systems or could use them as a starting point to achieve their public health goals. In this respect, the Ministerio de Salud de Chile (2008), does not establish the content of mushrooms, yeast and coliforms as a microbiological parameter in this kind of food.

According to Leyva *et al.* (2008), coliforms are highly resistant to natural conditions and can undergo dryness, although they can not stand under low temperatures and they are inactivated by pasteurizing. Mushrooms and

yeast grow slower in non-acid food that preserves humidity.

Sausages produced in the present research allowed to ensure their innocuousness, according to the sanitary requirements of food and the national Codex (15).

CONCLUSIONS

Sausages made in T_1 and T_2 treatments exhibited higher content of fiber, sugars and phenols, which reflected lower acceptability by the panelists. This was

because these treatments were developed one with the highest percentage of apple pomade and this was perceived by the panelists highest score when evaluated the color and texture attributes. Sausages made without apple pomade or low percentage of this, as shown by T_0 and T_3 , panelists perceived attributes of aroma and flavor, reflecting higher score on the acceptability of the product.

According to the Chilean sanitary requirements there was not risk of microbiology contamination in the grilled sausage elaborated, independently of the treatment carried out.

REFERENCES

1. Aloida, M.; Pérez, D.; Fernández, M.; Hernández, U.; Beldarraín, T.; Frómeta, Z.; Rodríguez, F. 2008. Productos cárnicos con fibra de soya: Una alternativa para la población celiaca. Disponible en: < <http://sibib2.ucm.cl:2518/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=54b83c6e-5c21-454a-a134-6d4d21cb59cc%40sessionmgr198&hid=121>>. Consulted: May 06, 2014.
2. Bazán, E. 2008. Nitritos y Nitratos: Su uso, control y alternativas en embutidos cárnicos. En: Nacameh: Difusión vía red de cómputo semestral sobre avances en Ciencia y Tecnología de la carne. Estado de Mexico. 2: 160-187.
3. Codex Alimentarius 1999. Norma del Codex para contaminación en alimentos cárnicos. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.org/normas-oficiales/lista-de-las-normas/es/?no_cache=1>. Consulted: May 08, 2014.
4. Codex Alimentarius 1999 (a). Norma del codex para grasas especificadas. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.org/normas-oficiales/lista-de-las-normas/es/?no_cache=1>. Consulted: May 08, 2014.
5. Codex Alimentarius. 2013. Norma general del Codex para Aditivos Alimentarios. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.org/normas-oficiales/lista-de-las-normas/es/?no_cache=1>. Consulted: May 10, 2014.
6. Federación Madrileña de Detallista de la Carne. 2005. Elaboración de embutidos frescos. Revista Ediporc. Disponible en: < <http://www.ediporcguia.com/sites/default/files/revista/EDIPORC%2081.pdf>>. Consulted: December 16, 2013.
7. Fellows, P. 2007. Tecnología del procesamiento de los alimentos. Zaragoza. España. Editorial Acribia. S.A. 707 p.
8. Gil, A.; López, M. 2010. Tratado de nutrición: Composición y Calidad nutritiva de los alimentos. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana S.A. 2ª edición. 2: 812 p.
9. Ibarz, A.; Barbosa, G. V.; Garza, S.; Gimeno, V. 2000. Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza. 283 p.
10. Instituto de Salud Pública de Chile (ISP). 2009. Procedimiento para determinar fibra cruda. Método gravimétrico. Disponible en: <http://www.ispch.cl/lab_amb/met_analitico/doc/ambiente%20pdf/FIBRACRUDA.pdf> Consulted: March 24, 2014.
11. Leyva, V.; Martino, T.; Puig, Y. 2008. Control Microbiológico de los Alimentos. En: Caballero, Á (Autor). Temas de Higiene de los Alimentos. La Habana, Cuba. Editorial Ecimed. 20- 28 p.
12. Madrid, A. 1994. Métodos oficiales de análisis de los alimentos. Editorial Mundi Prensa. 570 p.

13. Mahawar, M.; Singh, A.; Jalgaonkar, K. 2012. Utility of Apple Pomace as a substrate for various products. Food and Bioproducts Processing. Disponible en: <<http://sibib2.ucm.cl:2370/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=11563360-2037-4a2a-9658-a785d58ffa3c%40sessionmgr4004&hid=4207>>. Consulted: March 18, 2014.
14. Meilgaard, M.; Civille, G.; Carr, B. 1999. Sensory Evaluation Techniques. 3° edición. Estados Unidos. Editorial CRC Press. 354 p.
15. Ministerio de salud de Chile. 2008. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Santiago. Chile. Galas Ediciones. 151 p.
16. Ministerio de salud de Chile. 2011. Memoria departamento de nutrición y alimentos. Disponible en: <http://web.minsal.cl/ALIMENTOS_Y_NUTRICION>. Consulted: August 27, 2014.
17. Nielsen, S. 2003. Food Analysis Laboratory Manual; Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York. USA. 142 p.
18. Preedy, V.; Srirajaskanthan, R.; Patel, V. 2013. Handbook of food fortification and health. Volumen II. London. UK. Humana Press. 453 p.
19. Queji, M. D.; Wosiacki, G.; Cordeiro, G.; Peralta-Zamora, P.; Nagata, N. 2010. Determination of simple sugars, malic acid and total phenolic compounds in apple pomace by infrared spectroscopy and PLSR. International Journal of Food Science and Technology. Paraná, Brazil. 602-609.
20. Salas, N.; Olivas, G. 2011. El aroma de la manzana. Revista Interciencia. Disponible en: <http://www.interciencia.org/v36_04/index.html> Consulted: May 18, 2014.
21. Stone, H.; Sidel, J. 1993. Sensory evaluation practices. Food Science and Technology. A Series of Monographs. New York. EE. UU. Academic Press. 338 p.
22. Varnam, Alan H.; Sutherland, Jane P. 1998. Carne y productos cárnicos: Tecnología química y microbiología. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza. España. 423 p.
23. Waterman, P. G.; Mole, S. 1994. Analysis of Phenolic plant Metabolites. Editorial Wiley. 238 p.

ACKNOWLEDGMENTS

Aknoledge to Centro de Elaboracion de Alimentos Procesados (CEAP) for your support and colaboration.

This research was sponsored by the Center of Processed Food (CEAP) of the Regional Government in Maule and the National Commission of Science and Technology (Conicyt) in Chile.

Analysis of some physical, chemical and microbiological aspects of honey samples produced and consumed in Turkey

Análisis de algunos aspectos físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de miel producidas y consumidas en Turquía

Sezgin Bakirdere ^{1*}, Tolga Yaroglu ², Nihan Tirik ³, Mehmet Demiroz ⁴, Abdullah Karaca ⁵

Originales: *Recepción: 27/08/2015 - Aceptación: 17/08/2016*

ABSTRACT

Analysis of honey produced in the western part of Turkey was carried out in this study. Fifty honey samples, collected from the local market in this region were analyzed for their physicochemical parameters including hydroxymethylfurfural (HMF), electrical conductivity, sucrose, free acidity, moisture and water insoluble impurities, in addition to pathogenic microorganisms present. HMF amounts determined in 47 samples were found to be between 1.9 and 98.0 mg/kg with good reproducibilities (%RSD: 3.2% or better). There were no pathogenic microorganisms in any of the investigated samples. Electrical conductivity that gives information about their mineral contents was measured, and the mean value was found to be 0.33 mS/cm (N=34). In general, most of the samples were considered to meet the requirements of Turkish Food Codex and European Commission Directives.

Keywords

honey • quality • HMF • sucrose • moisture

1 Yıldız Technical University. Department of Chemistry. İstanbul. Turkey.

* bsezgin23@yahoo.com

2 Faculty of Veterinary Medicine. Ankara University. Ankara. Turkey.

3 Department of Biology. Samsun 19. Mayıs University. Samsun. Turkey.

4 Karacabey MYO. Uludag University. Karacabey-Bursa. Turkey.

5 Faculty of Veterinary Medicine. Fırat University. Elazığ. Turkey.

RESUMEN

En este estudio se analizó muestras de miel producida en la zona oeste de Turquía. Se trabajó con 50 muestras del mercado local de la región, en las cuales se determinaron parámetros físico-químicos incluyendo el hidroximetilfurfural (HMF), conductividad eléctrica, sacarosa, acidez libre, humedad e impurezas insolubles en agua además de microorganismos patógenos presentes. Las cantidades de HMF determinadas en 47 muestras oscilaron entre 1,9 y 98,0 mg/kg con buena desviación estándar de la reproducibilidad (% de RSD/DSR 3,2% o mejor). No se encontraron microorganismos patógenos en ninguna de las muestras analizadas. La conductividad eléctrica, que aporta información sobre el contenido mineral, resulta en un promedio de 0,33 mS/cm (N=34). En general se encontró que la mayoría de las muestras cumple los requerimientos del Codex alimentario turco y de las directivas de la Comisión Europea.

Keywords

miel • calidad • HMF • sacarosa • humedad

INTRODUCTION

Honey is known as the first and most reliable sweetener which has been used by human beings until now. High nutritional value and the fast absorption of its carbohydrates upon consumption are some of the main characteristics of honey (11, 32). It was found that honey has antimicrobial properties in addition to some positive health effects in healing wounds and burns, and in cancer care (3, 9, 16).

Floral origins utilized by bees and climatic conditions are the main factors affecting its composition and properties. Honey mainly consists of water, sugars (glucose, fructose, sucrose, maltose, and higher sugars), gluconic acid, lactone, nitrogenous compounds, minerals, and some vitamins (21).

Hydroxymethylfurfural (HMF) content is the parameter used for the evaluation of honey freshness and/or overheating.

The European regulation allows a maximum HMF content of 40 mg/kg (10).

In general, HMF is determined in honey samples during quality control, but HMF

does not provide any information about botanical and/or geographical origin (2).

Electrical conductivity, closely related to the concentration of mineral salts, organic acids, and proteins, is another parameter in quality control, as well as for the discrimination of honeys. Measurement of honey electrical conductivity is an effective tool to ascertain its mineral contents. In literature, many studies can be found on this topic (1, 33). It has been shown that free acidity in honey is an indication of its organic acid content and this parameter is useful for the evaluation of honey fermentation (19). Another criterion for honey quality is its content of simple carbohydrates (sugars).

The sugar content of honey is about 95% dry matter, mainly in the form of monosaccharides. Glucose and fructose are the predominant sugars in honey. Sucrose is in low amounts because it is converted to glucose and fructose in the process of honey maturing (8).

The water content of natural honey samples is an indicator of the degree of maturity and storage method. Hence, moisture determinations have long been done to assess the quality of natural honey samples (5).

The main purpose of this study was to analyze honey samples for their physico-chemical parameters to figure out whether they are in conformity with the Turkish Food Codex and European Commission Directives in terms of hydroxymethylfurfural, electrical conductivity, sucrose, free acidity, moisture, water insoluble impurities and pathogenic microorganisms.

MATERIALS AND METHODS

Chemicals

Only analytical reagent grade chemicals were used throughout this study. Pure water, obtained from a Nüve NS 112 water purification system, was used in all sample and standard preparation processes. All working standards and solutions were prepared daily and stored in the refrigerator.

Methods

All of the parameters investigated were determined according to procedures listed in Turkish Standards (TS).

TS 3036 standard (26, 31) was used for the determination of hydroxymethylfurfural, sucrose, free acidity, moisture and water-insoluble impurities, and TS 13366 standard (30) was used for the electrical conductivity measurements.

Each sample was analyzed 3 times for the calculation of both the mean value and standard deviation.

A Nova 60 UV-VIS instrument was used for the determination of hydroxymethylfurfural. For each HMF measurement, 10.0 g of honey was used. Para-toluidine (100 g/L)

and barbituric acid (0.5%) were applied for the color development. All of the measurements were performed at 550 nm.

Intensities measured were used to calculate the HMF amounts in the samples.

Electrical conductivity of the honey samples was measured with a TetraCon 325 model LF 330 conductivity meter.

Sucrose cannot react with the Fehling reagents, but the other reducing sugars give positive reactions. In the case of heating at 65-67°C and with the help of conc. HCl, sucrose splits into its monosaccharides, and then it readily reacts with the Fehling reagents positively. Hence, HCl was added to honey samples and the mixture was heated to 65-67°C for the conversion.

Fehling A solution (hydrated copper (II) sulfate in water) and Fehling B solution (potassium sodium tartrate and sodium hydroxide in water) were used for the determination of sucrose. Reaction with Fehling reagents using 2-3 drops of methylene blue with continuous boiling gave a brick-red precipitate.

The volumes of honey solution used to obtain the brick-red precipitate before and after inversion were used for the calculation of sucrose in honey (26, 31).

For the moisture determinations, a Macnimpex Abbe Refractometer was used. This method is based on the measurement of the refraction extent as light passes through a sample. The amount of refraction is related to the amount of solid and fluid in the honey sample. All measurements were done at 20°C. Refractive index as measured by refractometry was converted to %moisture using the conversion table given in TS 3036 standard (26, 31).

Free acidity of the honey samples was measured by titration with 0.10 M NaOH using phenolphthalein as indicator.

For the determination of water-insoluble impurities, 20.0 g honey was mixed with distilled water set to 80°C.

The mixture was filtered by Gooch crucible and the crucible was washed several times with hot water at 80°C. The crucible was dried at 135°C until no difference was observed between 2 consecutive weight measurements (26, 31).

In the determination of pathogenic microorganisms, procedures prescribed in Turkish Standards were used: TS 12812 for *Clostridium botulinum* (25), TS EN ISO 16654 for *E.coli* O157:H7 (27), TS EN ISO 6579 for *Salmonella* spp. (28), TS 6582-2 for *Staphylococcus aureus* (24), TS EN ISO 7937 for *Clostridium perfringens* (29), and TS EN ISO 11290-1 for *Listeria monocytogenes* (23).

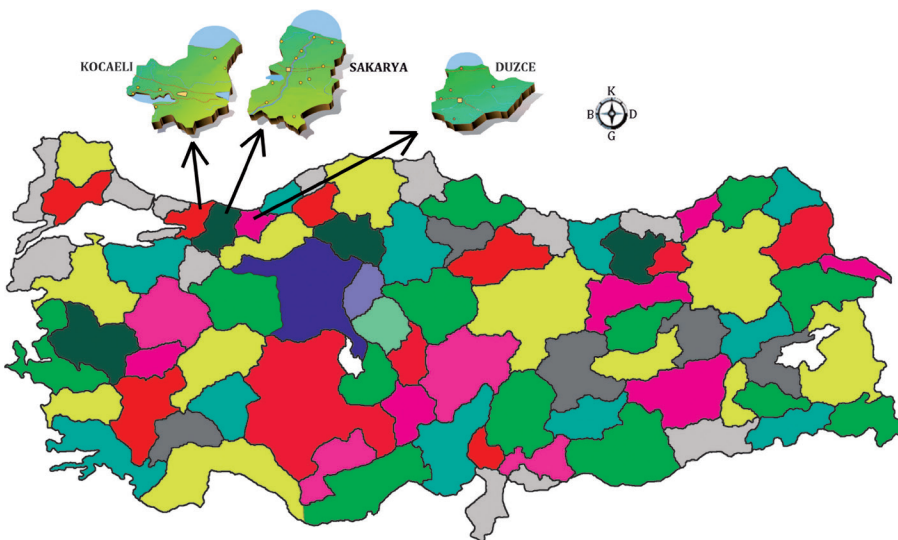
Sample collection and storage

Fifty honey samples were obtained from local markets in the western part of Turkey (Kocaeli, Sakarya and Düzce).

Although these honey samples were supplied in this region, the origin of the honey samples analyzed is from different types of wild flowers on mountain highlands in different parts of Turkey.

All the samples taken and transferred to the laboratory were kept at 2-4°C until analysis. Samples were analyzed within a week for hydroxymethylfurfural, electrical conductivity, sucrose, free acidity, moisture, and water-insoluble impurities to avoid any possibility of decomposition. A map showing the sample origins is shown in figure 1.

In the figure 1, the western cities Kocaeli, Sakarya and Düzce, and their towns can be seen. Total surface area and population of this region are 11122 m² and 2771198, respectively.



Source / Fuente: <http://www.csb.gov.tr>

Figure 1. Sample points in Turkey.

Figura 1. Puntos de muestreo en Turquía.

RESULTS AND DISCUSSION

The results for hydroxymethylfurfural, electrical conductivity, sucrose, free acidity, moisture, and water-insoluble impurities are given in table 1 (page 268). Each sample was analyzed at least 3 times and mean value of the results is reported. Free acidity, humidity and water insoluble impurities were determined in all samples while HMF, electrical conductivity and sucrose were determined in 47, 34 and 49 samples, respectively.

Hydroxymethylfurfural

HMF is a parameter used for honey quality (2). It can be seen in table 1 (page 268), that 47 honey samples were analyzed for their HMF contents. Concentrations of HMF were found to be in the range of 1.9-98.0 mg/kg, with a mean value of 25.64 mg/kg.

In the Turkish Food Codex (TFC) and the European Union Directive (EUD), the maximum limit for HMF is given as 40 mg/kg.

In this study, 7 honey samples were found to be of unacceptable quality based on the HMF limits given in TFC and EUD (10, 22).

Significantly higher values which are well above the legal limit might be due to the heat-treatments of samples.

In literature, there are many studies on the HMF content of different honey samples. In one study, the physicochemical parameters of honey samples taken from Marmara region and East Anatolia of Turkey are provided and the HMF amount were 31.8 ± 1.20 and 30.5 ± 1.38 mg/kg in honey samples from these 2 regions, respectively (15). Gulfranz *et al.* (2010) analyzed 40 samples of different honey types collected from Pakistan and concentrations of HMF were found to be 30.5 ± 0.49 mg/kg. The HMF results were comparable with those above (14).

In another study, determinations of HMF in 11 types of honey sold in Porto Alegre were made and it was observed that HMF amounts were in the range of 0.191 to 6.206 mg/kg (6).

In another study performed in Argentina (one of the World's largest producers), the physico-chemical properties of honey produced in the province of Chaco were analyzed for the contribution to the characterization of these honeys and HMF amount was found between 2.3-24.5 mg/kg (20).

Electrical conductivity

Electrical conductivity of honey samples was measured to obtain information about their mineral contents.

The mean value was found to be 0.33 mS/cm (N=34). Conductivity of samples was measured and the results were in the range of 0.01 to 0.76 mS/cm.

In TFC and EUD, the allowable maximum limit for this parameter is 0.80 mS/cm (10, 22). It is seen in table 1 (page 268), that all of the honey samples analyzed met the TFC and EUD criteria. Similar results were found by Feas (2010) and others who investigated some properties of artisanal honey samples ($n = 45$) collected from the northwest of Portugal.

Electrical conductivity was found in the range of 0.46 to 0.94 mS/cm, with mean value calculated as 0.66 mS/cm.

In another study, Gomes *et al.* (2010), analyzed 5 commercial honey samples taken from Portuguese markets for their floral origins, physicochemical parameters including electrical conductivity, and microbial safety. It was found that electrical conductivity ranged from 0.19 to 0.53 mS/cm (13).

Table 1. Results for honey samples interested (number of replicates for each sample is 3).**Table 1.** Resultados para las muestras de miel de interés (el número de repeticiones para cada muestra es 3).

	HMF amount. mg/kg, %RSD: 3.2% or better	Electrical conductivity. mS/cm %RSD: 0.5% or better	Sucrose. g/100g %RSD: 6.2% or better	Free acidity. meq/kg %RSD: 1.4% or better	Humidity %RSD: 0.9% or better	Water insoluble impurities. mg/100 g %RSD: 5.7% or better
Codex Limits (TFC, 2005, EUD, 2002)	40 (Max.)	0.8 (Max.)	5.0 (Max.)	50 (Max.)	20% (Max.)	100 (Max.)
Sample 1	79.1	0.11	3.46	9.8	16.6	70
Sample 2	36.2	0.32	3.80	5.7	18.0	95
Sample 3	12.7	0.42	2.90	25.2	17.2	80
Sample 4	86.7	0.10	0.78	1.5	16.4	82
Sample 5	8.4	0.70	1.38	16.2	16.6	27
Sample 6	7.8	0.10	2.60	2.7	17.8	15
Sample 7	13.8	0.24	3.29	4.4	17.8	37
Sample 8	80.9	0.51	2.08	7.7	17.4	40
Sample 9	79.6	0.66	2.11	5.4	17.4	45
Sample 10	-	0.69	3.36	3.8	16.6	57
Sample 11	-	0.21	2.97	4.0	18.2	55
Sample 12	8.0	0.34	4.40	3.5	17.6	75
Sample 13	36.0	0.18	3.50	3.8	16.4	77
Sample 14	66.3	0.76	0.51	17.7	15.4	72
Sample 15	9.1	0.59	0.50	3.9	16.8	70
Sample 16	2.3	0.15	4.85	9.5	16.8	70
Sample 17	5.9	0.11	4.04	7.0	17.0	<10
Sample 18	30.4	0.17	4.69	5.8	18.6	79
Sample 19	30.9	0.50	3.80	3.8	19.4	70
Sample 20	30.9	0.43	2.23	18.0	18.2	59
Sample 21	6.1	0.23	0.92	14.3	16.6	10
Sample 22	50.5	0.02	0.61	2.6	17.8	46
Sample 23	19.1	0.44	2.20	9.3	16.6	42
Sample 24	23.8	0.68	4.59	20.9	18.4	60
Sample 25	4.5	0.40	3.76	2.8	19.4	80
Sample 26	8.2	0.43	3.02	2.2	19.0	23
Sample 27	4.1	0.30	3.60	3.9	19.7	80
Sample 28	11.8	0.01	4.46	33.2	19.8	62
Sample 29	3.8	0.23	3.46	4.1	16.8	23
Sample 30	98.0	-	3.40	5.8	14.8	90
Sample 31	37.0	-	4.00	14.1	14.8	50
Sample 32	37.7	-	3.40	12.2	16.4	50
Sample 33	18.7	-	4.10	3.7	17.8	87
Sample 34	31.6	-	4.10	2.4	16.4	52
Sample 35	12.5	-	4.30	4.1	16.6	80
Sample 36	11.7	0.46	3.05	4.1	16.5	72
Sample 37	3.4	0.23	3.20	6.7	16.8	60
Sample 38	3.0	0.30	4.20	4.4	17.8	61
Sample 39	1.9	0.04	4.20	1.7	18.4	62
Sample 40	15.8	0.10	3.31	3.1	17.2	32
Sample 41	17.2	-	4.12	13.7	17.0	75
Sample 42	35.0	-	3.90	1.3	13.8	40
Sample 43	-	-	2.03	20.4	17.4	74
Sample 44	16.3	-	4.07	15.8	16.3	73
Sample 45	27.7	-	3.73	4.1	17.4	25
Sample 46	12.0	-	4.07	13.6	16.3	74
Sample 47	22.8	-	3.75	24.9	17.6	74
Sample 48	14.0	-	4.36	13.7	16.4	42
Sample 49	16.2	-	2.80	16.7	16.4	59
Sample 50	15.8	-	-	2.4	16.4	83

Sucrose

In literature, it is stated that the sucrose amount in honey is an important parameter to detect heavy sugar feeding of the bees or adulteration by direct addition of sucrose (17). In the Turkish Food Codex and the European Union Directives, maximum allowable limit for sucrose in honey is 5.0 g/100 g (10, 22).

In the study, concentration range for sucrose was found to be between 0.50 and 4.85 g/100 g (N=49), with the mean value of 3.22 g/100 g. In literature, many scientists have reported on sucrose for the characterization and/or quality control of honey samples.

Devillers *et al.* (2004), analyzed 469 samples of fir, cinder heather, chestnut, lavender, acacia, rape, and sunflower honey for moisture, conductivity, diastase activity, pH, free acidity, color, hydroxymethylfurfural, and percentages of fructose, glucose, sucrose, erlose, raffinose, and melezitose and found that sucrose concentrations were in the range of 0-5.3%, with a mean of 0.742% (7).

It is clear that our mean value was much higher than that.

Mendes *et al.* (1998), analyzed 25 different honey samples taken from Portuguese markets and they found that the mean percentage of sucrose for 2 samples was above the allowable limit of 5.0%, while in our study none of the honey samples showed sucrose values above 5.0 g/100 g (17).

Free acidity

Free acidity is the indication of the organic acid content of honey and it is an efficient tool for the evaluation of honey fermentation (19).

According to TFC and EUD, 50.0 meq/kg of free acidity is the maximum allowable limit for honey (10, 22).

In this study, the contents of free acidity were found to be between 1.3 and

33.2 meq/kg and the mean value was calculated as 8.83 meq/kg. It is seen in table 1 (page 268), that all of the honeys met TFC and EUD specifications in terms of free acidity.

Similar results are shown in the literature. Rodriguez *et al.* (2010) and others characterized the citrus blossom honey of Sierra Morena by melissopalynological and physicochemical analyses. It was found that free acidity ranged from 7.0 to 26.3 meq/L (18).

In another study, Forcone *et al.* (2009) performed the palynological and physicochemical characterization of honeys from the northwest area of Santa Cruz (Argentinean Patagonia). They found the free acidity to range between 9 and 20 meq/kg (12).

Moisture

Moisture content is another indication for the quality of honey. Crystallization in certain types of honey can be accelerated by high moisture content. In addition, high moisture can increase water activity to values where certain yeasts could grow (13). Good-quality honey has a low water content.

Honey is likely to ferment and lose its freshness and unpasteurized honey may show wild yeast growth if the water content is greater than 19%.

The moisture of raw honey can be as low as 14% and honey containing up to 20% of water is not recommended for mead-making (4).

The maximum limit for moisture set by TFC and EUD is 20.0% (10, 22).

In this investigation, the mean value for moisture was found to be 17.2% and values varied between 13.8 and 19.8%. None of the samples exceeded the legal limit of 20.0%.

This results were similar to those published by Gomes *et al.* (2010) with 15.9 to 17.2% in their study (13).

A range for moisture contents of honey was found to be 16.8-18.6% by Feas *et al.* (2010).

Water-insoluble impurities

One of the parameters to decide whether honey is of good quality is the amount of water-insoluble impurities. Visually clean and clear honeys can be categorized to be of good quality.

Contaminants include particles of wax, parts of bees, splinters of wood, and dust certainly make honey look unappetizing. Therefore, such honey is of low quality (4).

In this study, water-insoluble impurities in samples were in the range of 10 to 95 mg/100 g, except for sample 17 which had a value lower than 10 mg/100 g.

The mean value for this parameter was calculated to be 58.5 mg/100 g. In TFC and EUD, the legal maximum limit for this parameter is 100 mg/100 g. In this study, all samples met the legal requirements set by TFC and EUD (10, 22).

Microbiological analysis

Microbiological analysis was also performed in this study on the quality of honey samples. Pathogenic microorganisms, namely, *Clostridium botulinum*, *E.coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* and *Listeria monocytogenes* were determined due to their categorization as health-impairing microorganisms.

All of the samples were collected via sterile containers and stored at 2-8°C before the analysis. According to the Turkish Food Codex, there must be no pathogenic microorganisms present (22).

All of the analyses were performed in sterile media and it was observed that there were no live cells in any of the samples investigated.

CONCLUSION

Fifty honey samples taken from the western part of Turkey were analyzed and 86% of the samples reached the quality parameters and met national honey specifications and European Union Directives. It was observed that physicochemical properties showed variations among honey samples.

Results found for electrical conductivity, sucrose, free acidity, humidity and water insoluble impurities were within the imposed legal limits of the Turkish Food Codex and European Union Directives.

HMF amounts did not fall within the maximum limits in seven honey samples. There were no pathogenic microorganisms found in the analyzed samples. Moisture content as an indication for the quality of honey due to acceleration of crystallization with high moisture content was determined in all samples and values were found to be lower than 20.0% which is the maximum limit set by TFC and EUD.

REFERENCES

1. Accorti, M.; Piazza, M. G.; Persano Oddo, L. 1986. Conduttività elettrica e ceneri nei mieli. *Apicoltura Moderna*. 77: 165-166.
2. Anklam, E. 1998. A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food Chem*. 63: 549-562.
3. Bardy, J.; Slevin, N. J.; Mais, K. L.; Molassiotis, A. 2008. A systematic review of honey uses and its potential value within oncology care. *J. Clin. Nurs*. 172: 604-2623.
4. Benefits of honey. 2010. Recuperado de: <http://www.benefits-of-honey.com/good-quality-honey.html>.

5. Conti M. N. 2000. Lazio region (central Italy) honeys: A survey of mineral content and typical quality parameters. *Food Control*. 11: 459-463.
6. Da Silva, S. J. N.; Schuch, P. Z.; Vainstein, M. H.; Jablonski, A. 2008. Determination of 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde in honey by micellar electrokinetic capillary electrophoresis. *Ciencia tecnología de alimentos*. 28: 46-50.
7. Devillers, J.; Marlot, M.; Pham-Delegue, M. H.; Dore, J. G. 2004. Classification of monofloral honeys based on their quality control data. *Food chem*. 86: 305-312.
8. Diminish, F.; Kuka, P.; Cakste, I. 2006. The criteria of honey quality and its changes during storage and thermal treatment. *LLU Raksti*. 16: 73-78.
9. Estevinho, L.; Pereira, A. P.; Moreira, L.; Dias, L. G.; Pereira, E. 2008. Antioxidant and antimicrobial effects of phenolic compounds extracts of northeast Portugal honey. *Food Chem. Toxicol*. 46: 3774-3779.
10. European Union Directive (EU). 2002. European Union Directive 2001/110/EC, 32001L0110 relating to honey.
11. Feas, X.; Pires, J.; Ibglesias, A.; Estevinho, M. L. 2010. Characterization of artisanal honey produced on the Northwest of Portugal by melissopalynological and physico-chemical data. *Food chem. Toxicol*. 48: 3462-3470.
12. Forcone, A.; Aloisi, P. V.; Munoz, M. 2009. Palynological and physico-chemical characterisation of honeys from the north-west of Santa Cruz (Argentinean Patagonia). *Grana*. 48: 67-76.
13. Gomes, S.; Dias, L. G.; Moreira, L. L.; Rodrigues, P.; Estevinho, L. 2010. Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. *Food Chem. Toxicol*. 48: 544-548.
14. Gulfraz, M.; Iftikhar, F.; Raja, S.; Asif, S.; Mehmood, S.; Anwar, Z.; Kaukob, G. 2010. Quality assessment and antimicrobial activity of various honey types of Pakistan. *Afr. J. Biotechnol*. 9: 6902-6906. Available in: <http://www.benefits-of-honey.com/good-quality-honey.html>, 14.04.2012. <http://www.csb.gov.tr>, 22.12.2012.
15. Kahraman, T.; Buyukunal, S. K.; Vural A.; Altunatmaz, S. S. 2010. Physico-chemical properties in honey from different regions of Turkey. *Food Chem*. 123: 41-44.
16. Lay-Flurrie K. 2008. Honey in wound care: effects, clinical application and patient benefit. *Br. J. Nurs*. 17: 32-36.
17. Mendes, E.; Proenca, E. B.; Ferreira, I.; Ferreira, M. A. 1998. Quality evaluation of Portuguese honey. *Carbohdr. Polym*. 37: 219-223.
18. Rodriguez, I.; Salud, S.; Hortensia, G.; Luis, U. J.; Jodral M. 2010. Characterisation of Sierra Morena citrus blossom honey (*Citrus* sp). *Int. J. Food Sci. Tech*. 45: 2008-2015.
19. Ruoff, K.; Luginbühl, W.; Bagdanov, S. 2007. Quantitative determination of physical and chemical measurands in honey by near-infrared spectrometry. *Eur. Food Res. Technol*. 225: 415-423.
20. Salgado, C. R.; Maidana, J. F. 2014. Physicochemical characterisation of honey produced in the Chaco province (Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(2): 191-201.
21. Turhan, K. 2009. Content and diastase activity of honeys collected from middle Anatolia in Turkey. *Innovations in Chemical Biology*. 233-239.
22. Turkish Food Codex 2005. Number 26026, Food Codex, No. 2005/49.
23. Turkish Standard Institute, TS EN ISO 11290-1. 1997. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
24. Turkish Standard Institute, TS 6582-2. 2001. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
25. Turkish Standard Institute, TS 12812. 2002. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
26. Turkish Standard Institute, TS 3036. 2002. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
27. Turkish Standard Institute, TS EN ISO 16654. 2003. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
28. Turkish Standard Institute, TS EN ISO 6579. 2005. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
29. Turkish Standard Institute, TS EN ISO 7937. 2006. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
30. Turkish Standard Institute, TS 13366. 2008. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
31. Turkish Standard Institute, TS 3036. 2010. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
32. Viuda-Martos, M.; Ruiz-Navajas, Y.; Fernandez-Lopez, J.; Perez-Alvarez, J. A. 2008. Functional properties of honey, propolis, and royal jelly. *J. Food Sci*. 73: 117-124.
33. White, J. W. 1978. Honey. *Adv. Food Res*. 24: 287-374.

Proposal for severe injury reduction targets in Spain by territory and sector. The importance for rural areas of traffic accident

Propuesta de objetivos territoriales y sectoriales de reducción de heridos graves. Importancia de los accidentes de tráfico en áreas rurales

María Dolores Ramírez Román¹, Xavier Bolívar Lastra-Bravo², Alfredo Tolón-Becerra¹, Fernando Bienvenido-Bárcena³, Isabel Flores-Parra³

Originales: *Recepción:* 01/03/2017 - *Aceptación:* 31/03/2017

ABSTRACT

The Spanish road safety strategy for 2011-2020 proposes a 35% reduction in the number of severe injuries in 2011-2020. In this context, this article analyses provincial traffic accident rates in Spain by type of road and applies a nonlinear distribution methodology to dynamic severe injuries reduction targets for 2011-2020 for the purpose of setting accident rate targets in each of the Spanish provinces. Targets were weighted considering 2010 as the base year. This resulted in proposals for reducing the number of severe injuries in each province by type of road as a function of the starting situation of the indicators used in the study. In general, higher reduction must be made on highway and other type of roads (including city streets), and provinces with low population density (rural areas) such as Avila, Cuenca and Soria. The results found seek to provide policymakers with a more local view for achieving the overall Spanish traffic safety policy target, mainly for rural areas.

Keywords

Spanish road safety policy • safety indicators • non-linear distribution method for reduction targets • national comparisons • Spain

-
- 1 University of Almeria. Area of Engineering Projects. Ctra Sacramento s/n. La Cañada de San Urbano. 04120. Almeria. Spain. atolon@ual.es
 - 2 Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Carrera de Turismo Ecológico. Jerónimo Leiton y Av. La Gasca s/n. Ciudadela Universitaria. Quito. 170521. Ecuador.
 - 3 University of Almeria. Dept. of Computer Science.

RESUMEN

En la Estrategia de seguridad vial 2011-2020 para España se ha propuesto reducir el número de heridos graves en un 35% para el período 2011-2020. En este contexto, en este artículo se analiza la siniestralidad vial en España a nivel provincial y por tipo de carretera, y se aplica una metodología de distribución no lineal de valores objetivos dinámicos de reducción del número de heridos graves para el período 2011-2020, con el objeto de establecer objetivos provinciales de siniestralidad, para cada una de las provincias españolas. La ponderación de los valores objetivos se realizó considerando como año base a 2010. Como resultado se obtuvieron propuestas de reducción del número de heridos graves para cada provincia, y por tipo de carretera, en función de la situación inicial de los indicadores considerados en el estudio. En general, las mayores reducciones se deberían alcanzar en vías convencionales y otro tipo de vía (incluido vías urbanas), y en provincias con menor densidad de población (áreas rurales) como Ávila, Cuenca y Soria. Los resultados obtenidos buscan dar una visión más local a los tomadores de decisiones en relación con la consecución del objetivo de la política de seguridad vial en el conjunto de España, especialmente en áreas rurales.

Palabras claves

Política de seguridad vial española • indicadores de seguridad vial • método de distribución no lineal de objetivos de reducción • comparación nacional • España

INTRODUCTION

Road safety in Spain has undergone a very positive change in recent years, with a 53% reduction in the number of fatalities from 2000 to 2009, when it was in line with the European Road Safety Strategy and the 50% reduction target for 2010 (4). These improvements are mainly the result of an increase in the use of safety systems, such as helmets (73% to 98.9%) and safety belts (70% to 90.6%), and also a reduction in risk factors, such as average speed (-2 km/h) and drinking while driving (deceased drivers with a blood alcohol level over 0.3 g/l went from 35% to 29%). These measures have previously been identified as among the most effective in road safety (13, 16, 28, 29), so the results are therefore in agreement with various cost/benefit studies done on road safety policies

demonstrating that the most progress in this field may be achieved by applying cost-effective road safety measures (11), such as those applied in Spain, and that in general require more studies to identify new measures (24).

These positive changes in user behaviour may quite possibly have been due to having set reduction targets (for example, 50% in road fatalities), which have acted as a catalyst for the efforts of the various actors involved in road safety, who are aware that they alone do not exert a direct effect on the results of the programs implemented (21, 37, 38). Better infrastructures and modernization of vehicles in circulation and their safety systems have also contributed to improved road safety in Spain (4). These measures have been validated in previous

studies (28, 36). But road safety policy must continue to be strengthened, and especially, coordination on different levels of competence (national, regional and local governments) and among the many qualified economic and social agents involved (4).

More road safety requires an efficient road safety policy based on an optimum set of measures and targets selected by the corresponding authorities, who must be committed to their fulfilment and achievement as an indispensable part of the process (10, 15, 29). Therefore, Spain is concentrating its efforts to reduce traffic accidents on 13 specific quantifiable scientific indicators identified for 2020 in the Spanish 2011-2020 Road Safety Strategy (4).

The Spanish strategy includes the principles considered by the EU in COM(2010) 389 final, "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions towards a European road safety area: policy orientations on road safety 2011-2020", which are "Striving for the highest road safety standards throughout Europe", "An integrated approach to road safety" and "Subsidiarity, proportionality and shared responsibility" (12). Under these principles, society would assume its responsibility for achieving more road safety, a stronger bond with social safety policy in other fields, and especially, stronger true governance where different levels of government acquire more responsibility for fulfilling the commitments made and taking specific action.

One of the indicators formulated in the Spanish Road Safety Strategy was "35% reduction in the number of severe injuries", to respond to the consequences

suffered by those who, though they have not lost their lives, have been severely injured and their psychophysical conditions impaired by traffic accidents.

Setting the 13 indicators and their quantitative targets in the Spanish strategy reinforces the need to set thresholds and quantitative targets.

The more ambitious the quantitative targets are, the more effect they have on policymakers and on the execution of road safety programs (9, 35). Therefore, a road safety target must be achievable and ambitious, and not demotivate by being too ambitious or cause complacency by being too modest (35). Sze *et al.* (2014), in a study evaluating the likelihood of success of road safety targets and the factors that influence them, found that less ambitious targets had more probability of success. This reinforces the conclusion reached in previous studies that setting rational but reachable targets is essential to road safety policy, and that such ambition must vary by region.

Therefore, the target for reducing accidents marked by road safety policy must be different in each geographic area, be found based on its distance from a desirable value and be more ambitious the more severe the social problem is (26). In this sense, the traffic accident rates differ among rural and urban areas, so different targets must be set.

Zwerling *et al.* (2005) summarize potential explanations for the differences in traffic accident rates between rural and urban areas; among them the distances travelled are higher in rural areas, less likely behaviour for adopting safety measures (wearing seat belts or alcohol patterns), less safety conditions on rural roads and rural vehicles, higher severity on rural crashes due different speed limits or road conditions, on rural areas medical

attention take more time and the quality of the medical response may not be as good.

In Spain, a negative correlation between population density and population and the number of accidents per inhabitants and fatalities was founded (27) due the areas with the lowest populations (rural areas) are mountainous and non-urban, and therefore, have less developed road networks, with a more irregular layout and steeper grades, and with fewer high-capacity roads.

Spain has 52 provinces and the purpose of this article is to widen the methodology proposed by Tolón *et al.* (26) by applying it to the severe traffic injuries indicator, and sectorize its application by province and type of road where the accident happened. Thus provincial targets for reducing the number of severe injuries in 2010-2020 are found by type of road. It further intends to reinforce the debate on the use of different indicators of traffic accident rates in weighting territorial reduction targets for number of injuries, especially for rural areas where severity of traffic accidents is usually higher. Eksler (2010) and Eksler and Lassarre (2008) believe that comparative evaluation on a subnational level can provide interesting new opportunities for improving road safety in the territories.

Analysis of the evolution of accident rates during 2000-2014

To evaluate the effects of road safety programs, not only the current situation in different countries must be compared, but also their evolution over time (32). Therefore, data and evolution of the provincial totals of severe injuries and type of road are analyzed below.

In particular, the changes in means and ranges (they are distributed within) over time show their variation. In addition to the analysis of change, indicators are also analyzed for 2010, year of reference for application of the formula.

Real evolution in the number of severe injuries in traffic accidents

In 2000-2014, evolution in the reduction of the number of severe injuries in Spain was positive (65.5%) (figure 1, page 277). But evolution in the provinces was irregular, with reductions of 87.5 to 26.8%. Madrid stands out as the only province in which the number of severe injuries did not change by over 50%, which Barcelona, a province with similar population and vehicle pool characteristics, did achieve. Most (32) had a 12 to 33% reduction. That is, a higher reduction than Spain as a whole.

The wide variation in reduction percentages in Ceuta is due to its small population and vehicle pool. Almeria was able to reduce fatality on the road by 75.9% from 2000 to 2014, in spite of the negative trend (increase in number of severe injuries) from 2001 to 2008. Fatality in 2014 was 78.9% lower than in 2008.

It was observed that the number of severe injuries varied more in 2000-2009, and stabilized in 2010-2014, when although figures were more stable, always tended toward reduction. Nor is behaviour similar among the provinces with the heaviest populations, such as Madrid, Barcelona, Valencia, Seville, Alicante, Malaga and Murcia.

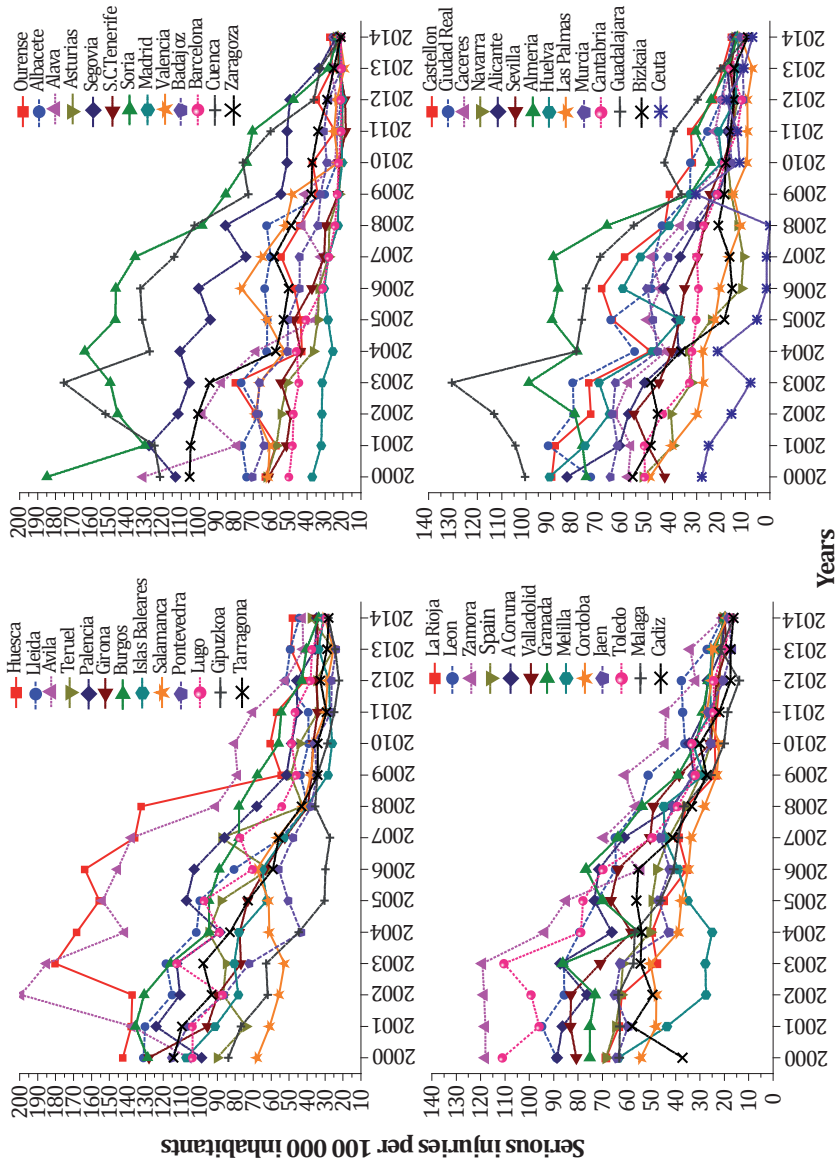


Figure 1. Severe injuries per 100 000 inhabitants in Spanish provinces in the period 2000-2014.
Figura 1. Heridos graves por 100 000 habitantes en las provincias españolas en el periodo 2000-2014.

In 2010-2014, the reduction in the number of severe injuries in Spain was 20.2%, and provincial data vary strongly ($26.8 \pm 23.8\%$). Although the trend is positive in Alava, Albacete, Balearic Islands, Lleida, Madrid, Asturias, Las Palmas and Santa Cruz de Tenerife, the number of severe injuries increased during this period by 243. Half of the severe injuries in Spain occurred in Barcelona, Valencia, Pontevedra, Alicante, Seville, Malaga and Girona, along with Madrid and the Balearic Islands, and progress was below the Spanish mean, except for Seville (27.5%). This situation must be reversed for Spain to reach the target set, and a greater effort must be made there than in the rest of the provinces.

Severe injuries per population

In 2000-2014, the number of severe injuries in Spain per population went down from 68.6 severe injuries per 100 000 inhabitants in 2000 to 20.5 severe injuries per 100 000 inhabitants in 2014 (figure 1, page 277). It should be favorably stressed that the number of severe injuries per population did not increase in any of the provinces.

The provinces with the greatest reduction in this indicator were Soria, Alava and Cuenca with decreases of over 100 severe injuries per 100 000 inhabitants, this provinces are characterized by lower population density. On the contrary, Madrid, Ceuta, Cádiz, Barcelona and Seville, had the lowest reductions with decreases of less than 30 severe injuries per 100 000 inhabitants.

In 2000, the severe injury per population indicator in the Spanish provinces varied from 27.9 (Ceuta) to 184.8 (Soria) severe injuries per 100 000 inhabitants. This range was lower in 2014, from 7.6 (Ceuta) to 48.0 (Huesca)

severe injuries per 100 000 inhabitants (figure 1, page 277).

Analysis of the severe injuries per population indicator in 2014 shows that in 23 of the 52 Spanish provinces it was below the one for Spain, but there was no direct relationship with the resident population in each province.

In spite of the reduction in the severe injuries per 100 000 inhabitants indicator in the Spanish provinces in 2010, they still varied strongly, with significant dispersion among the provinces. These data, means and their dispersion must continue going down to accentuate convergence toward the desired value (zero) of this indicator.

Severe injuries by type of road in 2000-2014

During the period 2000-2014, a significant increase was observed in the percentage of severe injuries on other types of roads (table 1, page 279) over total for all Spanish roads. This increase was mainly in 2011-2014, when it increased more than 20 percentage points. On the contrary, the number of severe injuries on highways decreased significantly over total injuries. On other roads considered in the study, slight reductions from 2000 were observed in 2014, and very few differences compared to the distribution in 2010.

The differences observed in the number of deaths in the distribution by roads is due to a change in the methodology applied by the Dirección General de Tráfico (Directorate General of Traffic -DGT) starting in 2011, whereby victims are followed up after 24 hours from the accident, leading to an increase in severe and minor injuries, mainly in urban areas.

Table 1. 2000-2014 evolution in the number of severe injuries by type of road *

Tabla 1. Evolución 2000-2014 del número de heridos graves por tipos de vía *

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Motorway	4.1	4.9	4.0	4.6	4.3	4.1	4.1	3.4
Expressway	10.3	11.1	11.2	11.9	10.6	10.3	10.5	10.0
Highway	51.2	52.3	52.6	54.0	50.4	51.7	57.3	55.9
Local road	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.0	2.9	3.3
Service road	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4
Interchange ramp	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.5	0.6	0.6
Other[‡]	31.1	28.3	28.9	26.1	31.5	30.9	24.2	26.4

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Motorway	3.1	2.5	2.7	2.3	2.5	2.7	2.7
Expressway	11.0	10.6	10.1	8.9	8.3	8.1	7.9
Highway	52.9	48.7	49.5	44.1	41.8	35.9	35.7
Local road	3.2	3.1	2.7	3.0	2.7	2.7	1.8
Service road	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
Interchange ramp	0.4	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3
Other[‡]	29.3	34.5	34.5	41.4	44.2	50.3	51.4

* The data for each year are expressed as a percentage (%) of total severe injuries on Spanish roads.

‡ Starting in 2011, official accounting on other types of road (intercity) and city streets.

* Para cada año, los valores están expresados en porcentaje (%) del total de heridos graves en las vías españolas.

‡ A partir de 2011 se desglosa la contabilidad oficial en otro tipo de vía (interurbana) y vías urbanas.

Data on the starting year (2010)

In 2010, the severe injuries per 100 000 inhabitants indicator for Spanish provinces varied in a range of 9.4 (Las Palmas) to 80.3 (Avila) severe injuries per 100 000 inhabitants (figure 1, page 277). The mean of the severe injuries per 100 000 inhabitants indicator was 32.5 ± 15.7 .

The highest number of severe injuries occurred on highways (figure 2, page 280), with a mean of 114.1 ± 77.3 severe injuries and a mean total percentage of $56.1 \pm 16.8\%$. On other types of roads, the mean of severe injuries was 79.7 ± 167.5 , with a mean total percentage of $27.0 \pm 19.8\%$. The high variation in these values is due to the high number of severe injuries in the most heavily populated provinces.

The averages for the severe injuries per 100 000 inhabitants indicator on the various types of road included in the study were 0.8 ± 1.4 (motorway), 3.4 ± 3.6 (expressway), 18.9 ± 12.5 (highway), 1.2 ± 1.4 (local road), 0.1 ± 0.1 (service road), 0.2 ± 0.4 (interchange ramp) and 8.0 ± 6.0 (other).

The variation among provinces observed in the severe injuries per 100 000 inhabitants indicator and by type of road where they occurred justifies application of the Tolón-Becerra *et al.* (2009), methodology to diversify, both by territory (by territorial units) and sector (by type of road) the criteria used by policymakers for decision making.

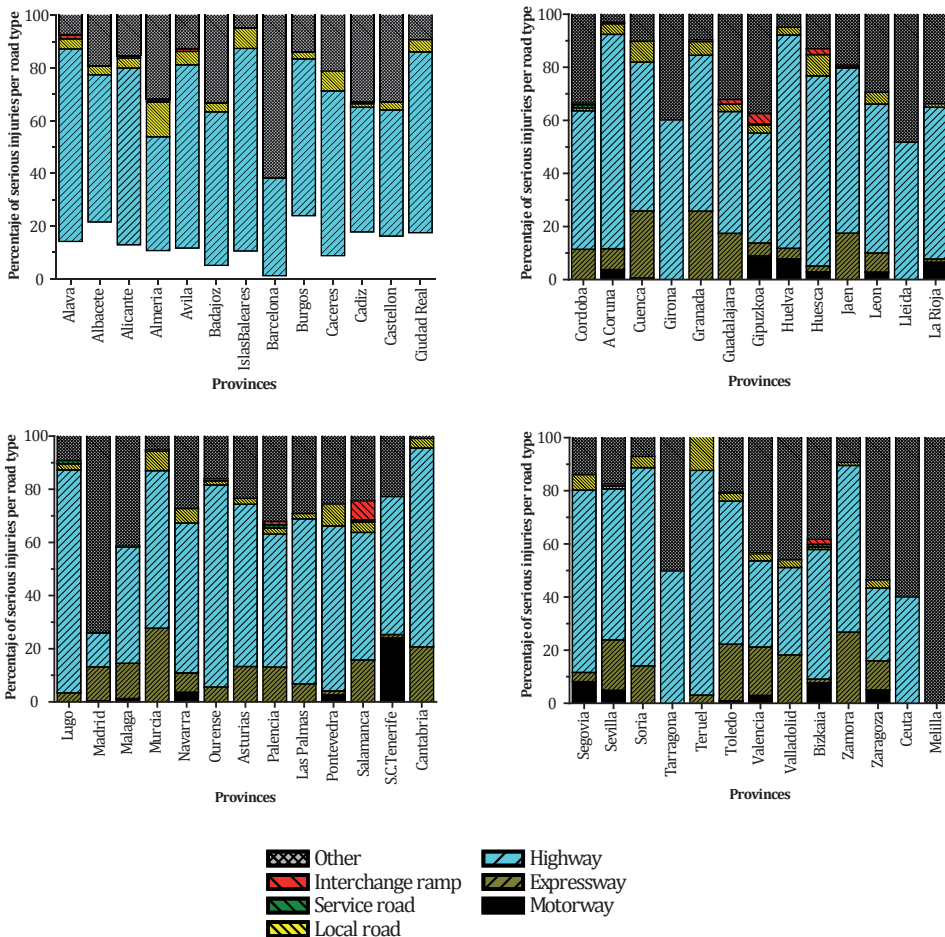


Figure 2. Serious injuries per road type (%) in Spanish provinces in 2010.

Figura 2. Heridos graves por tipo de vía (%) en las provincias españolas en 2010.

MATERIALS AND METHODS

Parameters considered in weighting the accident rate reduction targets

In COM(2010) 389 final, Member States were encouraged to design national road safety strategies considering their specific starting points, needs and circumstances (12). Thus the methodology by Tolón- Becerra *et al.* (2009), is applied

to a new scenario, the number of severe injuries in traffic accidents and two specific circumstances, the territory (provinces) and type of road where the injuries occurred. This way, policymakers can design new policies based on these parameters.

Study of the data available enables better comprehension of the road safety

situation, which is usually done by spatio-temporal comparison of accident rate data (7, 15, 32).

Researchers and policymakers have concentrated on studying temporal variations, even though most of the factors which enter into road safety are spatial (7).

Among them, the relative level of motorization, the territory (country, region, province, municipality, etc.), topography, type of users on the road and type of vehicle (18, 20, 30). Theofilatos and Yannis (2014) also suggested that most of the studies on road safety concentrate on expressways or urban expressways, and the rest of types of roads have been studied very little, since although they are more complicated to analyse in terms of traffic, they are of more interest in terms of road safety.

Indicators for comparing road safety among countries should be relevant, measurable, understandable, specific and sensitive, and reliable comparable data must be available for them (14). This recommendation should be taken into even more consideration when working on subnational levels where fewer quality data are available.

The decision on how to specify groups of similar areas and the size of groups for comparative evaluation should also be considered (1) such that researchers can interpret the results found.

One of the available indicators which provide real information on the degree of road safety is the number of severe injuries in traffic accidents normalized per population. Its importance for formulation of road safety policies is given by its consequences to disability and healthcare costs, so it is usually used the most often as an additional indicator of road safety (33, 34).

Hughes *et al.* (2015), think road safety strategies should use fatalities and severe injuries as primary indicators of road safety. Shen *et al.* (2015), suggest that the situation of severe traffic injuries merits more political attention than fatalities in comparative evaluation of road safety. More so if the long-term effects on health of those severely injured in traffic accidents, still not well documented, are considered (2).

It is therefore suggested that the methodology by Tolón-Becerra *et al.* (2009), be widened by applying it to a new scenario, the number of severe traffic injuries and the type of road where they occurred. This methodology is based on the fair and logical principle that a greater effort should be made to reduce the number of injuries in those territories which had the worst values in the year of reference (territorial differentiation) and also for those types of roads with the worst values (differentiation by sector).

This methodology was applied in this study to the Spanish provinces, which are NUTS2 in the statistical territorial units nomenclature, on both sector and territory levels.

The sector units were the seven types of roads differentiated in Spanish accident rate statistics, and the total sector was all of the roads in Spain. In the territorial application, the total geographic area considered was Spain, and the geographic units were its 52 provinces, so that severe traffic injuries, after applying the corresponding modulated reduction coefficients, yielded a 35% reduction in 2020 compared to 2010. Wong and Sze (2010) state that the year of reference set for targets is usually the year before its application.

Data

Data for severe traffic injuries used in this study are from the statistics published by the DGT (2015) and the population figures are from the Instituto Nacional de Estadística [National Statistics Institute] (2016) (19). According to Orden del Ministerio del Interior [Ministry of the Interior Order] INT/2223/2014, severe injuries are considered persons injured and hospitalized for over twenty-four hours, and as such are registered in the Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico [National Registry of Persons Injured in Accidents]. Starting in 2014, the DGT changed the term severe injuries to hospitalized injuries.

The types of road considered by the DGT for statistical purposes are motorway, expressway, highway, local road, service road, interchange ramp and other types. These are defined as:

- Motorway: controlled-access highway specially projected, constructed and indicated as such for the exclusive circulation of automobiles and having the following characteristics: no access to bordering properties, no at-grade crossing of pedestrian paths, roads, railway lines or trams, or crossed by at-grade pedestrian paths, communicating roads or any type of easement, and traffic in opposing directions separated, except at certain points or temporarily, by a median strip, or exceptionally by other means.
- Expressway: controlled-access highway specially projected, constructed and indicated as such with the following characteristics: limited access from bordering properties, no at-grade crossing of other pedestrian paths, road, railway or tram, nor at-grade crossing by pedestrian paths, connecting roads or easements, and traffic in opposing directions is separated, except at certain points or temporarily, by a median strip, or exceptionally by other means.

- Highway: a road which does not have the characteristics which define motorways, expressways and roads for automobiles.

- Local roads: roads belonging to a municipality which communicate towns and are useable by both pedestrians and vehicles.

- Service road: road parallel to another to which it is secondary, connected only at certain points to serve adjacent properties or buildings.

- Interchange ramp: connecting slip roads with one or several carriageways which allow continuous traffic between two others.

- Other: any other type of road not included above.

Method

The starting year for application of the methodology was taken as 2010. According to the Tolón-Becerra *et al.* (2009), methodology, reduction coefficients are expressed in relative terms of improvement as so much per one, which varies from 1 (theoretical case of starting total accident rates in the population) to 0 (hypothetical case in which the starting accident rate is zero).

The calculation methodology uses a nonlinear function through an inverse logarithmic distribution formula depending on the number of severe injuries per population relative indicator. For each application unit (*i*) in the methodology, whether territory or sector, the relative indicator (*R*) in reference year (2010) is:

$$R_i = F_i / X_i$$

where:

F = number of serious injuries

X = relativisation per population

The premises considered in the methodology are:

$$F_{2020} = c * F_{2010} \Rightarrow F = \sum_{i=1}^{i=n} F_i \quad (1)$$

where:

c = total residual coefficient, complementary to the reduction coefficient, and according to the Spanish target, is equal to 0.65

F = summation of the number severe injuries in absolute values of each of the unitary areas F_i (sector: type of road, and geographic: Spanish provinces)

For each type of road and each province, a residual coefficient c_i' is calculated as a function of the following inverse logarithmic distribution in the formula 2*.

Where a is the weighting factor modulating coefficient c_i' found from the following expression:

$$a = \frac{F_{i(2020)}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{F_{i(2020)}}{In R_{i(2010)}}} = \frac{c * F_{i(2020)}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{*F_{i(2010)}}{In R_{i(2010)}}} \quad (3)$$

This methodology was applied to each type of road and to each province.

Results of applying the methodology

The advances made in recent years by Spain in the field of road safety are positive, but a greater effort must be made to achieve the 35% reduction target set for the number of severe traffic injuries in 2011-2020.

For this, stronger efforts must be made where accident rates were higher in the starting year (2010) and where the trend was negative (increased accident rates) in recent years. By applying the methodology for calculating weighted reduction coefficients of the number of severe injuries in Spanish provinces, the target reduction in the number of severe injuries for 2020 was found for each.

Two targets were found for each province, one applying a general 35% reduction in severe injuries on all roads, and another applying reduction coefficients differentiated by type of road.

According to the formula applied, the total number of severe traffic injuries in absolute values in each province, is reduced heterogeneously, but in such a way that the total enables the Spanish 35% reduction target to be reached. Furthermore, the higher the indicator in the reference year (2010) for each of the provinces, the higher the reduction coefficient is.

Weighting by sector (type of road)

For each type of road, different reduction coefficients were found, such that those types of road where the most effort for reducing the accident rate made in the future is where there were the most severe injuries (SI) (table 2, page 284).

As observed in table 2, reductions higher than those set for Spain as a whole must be made on highways and other types of roads (including city streets). In the case of roads such as service roads or interchange ramps, the reductions proposed are low, because the premise is that a low accident rate in the starting year is related to a low reduction percentage in the target end year, which in this case is 2020.

* $F_{i(2020)} = c_i' * F_{i(2010)} \Rightarrow c_i' = f(R_{i(2010)} = a * (In R_{i(2010)})^{-1} \quad (2)$

Highway and Expressway usually are the main type of road for connection on rural areas, where a negative correlation between mortality rate and GDP is higher, whereas it is lower with population density (27).

Among the factors influencing rising road accidents in rural areas are the state of the vehicle pool, the state of the roads (in spite of investments made, many roads involve a higher traffic risk, mainly because of their location in mountainous areas), bad weather, and/or longer distance to medical centres, increasing the time required in emergencies (3). And they should be considered a priority area for improving road safety.

The methodology applied the total residual coefficient (*c*) found for each type of road for target distribution to the territories (Spanish provinces). The results found were compared to linear application of the Spanish target, a 35% reduction on all types of roads.

Weighting by territory

Avila, Cuenca and Soria, provinces with low population density, had the highest

reduction percentages, similar to or over 50% (table 3, page 285) and therefore the highest reduction target.

The provinces with the most inhabitants (Madrid, Barcelona and Valencia) should reach reduction targets of about 30%, which although below the Spanish target, in absolute numbers of severe injuries, constitutes a significant reduction.

The mean reduction percentage is $36.1 \pm 8.9\%$. Furthermore, the high initial dispersion of the number of severe injuries per 100 000 inhabitants among the provinces is reduced considerably over time from a range of 9.4-80.3 to 8.7-41.8.

Weighting by territory and type of road

First, percentage reduction in the number of fatalities in 2020 was compared to 2010, both for linear sector application of the 35% severe injuries reduction target by type of road, and for nonlinear sector application as a function of the coefficients presented in *Weighting by sector (type of road)*. Then the results found for the severe injuries by the type of road and per population indicators were analysed.

Table 2. Weighted reduction rates by road type.

Tabla 2. Valores objetivos de reducción ponderados por tipo de vía.

	Road type	Highway	Other (including city streets)	Spain	Expressway
2010	SI	5 934	4 145	11 995	1 211
2020	Red. (%)	37.1	35.6	35	30.3
	SI	5 934	4 145	11 995	1 211

	Local road	Motorway	Interchange ramp	Service road
2010	321	320	45	19
2020	23.4	23.4	10.3	3
	321	320	45	19

Table 3. Reduction rates weighted as a function of serious injuries per 100 000 inhabitants.

Tabla 3. Valores objetivos de reducción ponderados en función de heridos graves por 100 000 habitantes.

c = 0.65 Provinces	2010		2020		
	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate
Ávila	138	80.3	51.6	67	41.8
Cuenca	165	75.8	51.0	81	40.3
Soria	70	73.5	50.6	35	39.3
Huesca	138	60.4	48.3	71	32.9
Burgos	209	55.8	47.3	110	31.5
...					
Spain	11.995	25.5	35.0	7.797	16.9
...					
Navarra	110	17.3	25.6	82	12.9
Alicante	319	16.6	24.4	241	13.2
Murcia	230	15.7	23.0	177	12.1
Ceuta	10	12.4	15.8	8	9.6
Las Palmas	103	9.4	5.5	97	8.7

* SI rate: serious injuries per 10⁵ inhab⁻¹.

* Tasa de SI: heridos graves por 10⁵ hab⁻¹.

According to the statistical data for the starting year, not all the Spanish provinces had severe injuries, so it is assumed that in these provinces their accident rate statistics should remain at zero severe injuries.

The reduction percentages proposed for each province based on application of a reduction coefficient differentiated by type of road show similar general behaviour, with a mean reduction of 8.1 to 37.3%. For linear application of the reduction target to types of road, mean reductions were from 27.9 to 36.1%.

The highest dispersion in reduction percentages was observed for the types of road with the lowest number of provinces recording severe injuries (interchange ramps, local roads, service roads and motorways, with 19, 43, 13 and 25 provinces, respectively).

In general, more pressure for reduction is observed on those which had the worst results in the starting year (2010), confirming the premise that those geographic areas where severity of the social problem is the worst (severe injuries per population), must make the most effort.

Reduction percentages proposed for the number of severe injuries on motorways

Nine of the 25 provinces with victims must reduce the number of severe injuries on motorways by a percentage higher than the one set for Spain (35%), both in linear application and in application differentiated by type of road (table 4, page 286). These provinces are characterized by low population density. In Cuenca, Toledo, Malaga, Barcelona and Madrid, the reduction percentage was zero, because of the very low number of severe injuries per 100 000 inhabitants.

Table 4. Reduction rates weighted as a function of serious injuries per 100 000 inhabitants on motorways.**Tabla 4.** Valores objetivos de reducción ponderados en función de heridos graves por 100 000 habitantes en autopistas.

Provinces	2010		c = 0.65			2020 ^a			c = 0.77			2020 ^b			Red. 2020 ^a - 2020 ^b
	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	
Burgos	21	5.6	44.5	12	3.3	34.5	14	3.9							9.9
S.C. Tenerife	55	5.4	44.2	31	3.0	34.2	36	3.5							10.0
Segovia	7	4.3	42.6	4	2.7	32.4	5	3.1							10.3
Castellón	25	4.1	42.4	14	2.6	32.1	17	3.0							10.3
Ávila	6	3.5	41.2	4	2.2	30.7	4	2.6							10.5
...															
Spain	320	0.0	35	208	0.5	23.4	245	0.5							11.6
...															
Málaga	4	0.2	13.1	3	0.2	0.0	4	0.2							14.0
Cuenca	1	0.5	0.0	1	0.4	0.0	1	0.5							15.2
Toledo	2	0.3	0.0	2	0.2	0.0	2	0.3							13.1
Barcelona	7	0.1	0.0	7	0.1	0.0	7	0.2							0.0
Madrid	6	0.1	0.0	6	0.1	0.0	6	0.1							0.0

As a result, variation in the severe injuries rate per 100 000 inhabitants would go from a range of 0.1-5.6 in 2010 to 0.1-3.3 in 2020 (linear application), or 0.1-3.9 (application by type of road).

Less pressure for reduction may be observed in application of the methodology to sector (type of road) with differences from linear application of 9.9 to 15.2 percentage points.

Reduction percentages proposed for number of severe injuries on expressways

On Spanish expressways, the reduction percentages varied from 14.8 to 46.0% for linear application of the reduction coefficient, and from 8.6 to 42.1% for application differentiated by type of road (sector), with the exception of La Rioja, Santa Cruz de Tenerife, Bizkaia and Barcelona which had a zero percent reduction due to the low rate of severe injuries per 100 000 inhabitants (table 5, page 287).

In general, the pressure for reduction decreases with sector application of the

methodology, as in the case of motorways, due to the low general pressure that would be made on this type of road (30.3%).

The provinces with the highest number of severe injuries on expressways, Madrid, Valencia, Granada, Seville, Murcia, Cadiz and Toledo, which together represent 49% of injuries, had reduction percentages of 32.3 to 40.8% (linear application) and from 27.4 to 36.5% (sector application), where Madrid stands out with a lower reduction percentage than the one for Spain.

If the targets set for each province were met, the severe injury rate on expressways per 100 000 inhabitants would decrease from a range of 0.1-19.3 in 2010 to 0.1-11.3 in 2020 (linear application) or from 0.2 to 12.1 (sector application).

As shown for highways, the majority of provinces with a reduction percentage over the one for Spain are characterized mainly for a low population density; due a large proportion of their territories are rural areas.

Table 5. Reduction rates weighted as a function of serious injuries per 100 000 inhabitants on expressways.

Tabla 5. Valores objetivos de reducción ponderados en función de heridos graves por 100 000 habitantes en autovías.

Provinces	2010		c = 0.65			2020 ^a			c = 0.70			2020 ^b			Red. 2020 ^a - 2020 ^b
	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	
Cuenca	42	19.3	46.0	23	11.3	42.1	24	12.1							3.9
Zamora	23	11.8	43.2	13	7.4	39.0	14	8.0							4.1
Soria	10	10.5	42.4	6	6.6	38.3	6	7.0							4.2
Granada	75	8.2	40.8	44	4.8	36.5	48	5.2							4.3
Guadalajara	19	7.6	40.3	11	4.4	36.0	12	4.7							4.3
...															
Spain	1.211	2.6	35.0	787	1.8	30.3	844	2.0							4.7
...															
Pontevedra	5	0.5	14.8	4	0.5	0.0	5	0.5							6.2
La Rioja	1	0.3	0.0	1	0.3	0.0	1	0.3							6.7
S.C.Tenerife	3	0.3	0.0	3	0.3	0.0	3	0.3							6.1
Bizkaia	3	0.3	0.0	3	0.3	0.0	3	0.3							4.2
Barcelona	7	0.1	0.0	7	0.1	0.0	7	0.2							0.0

Reduction percentages proposed for number of severe injuries on highways

The highest reduction percentage for highways was found with sector application by type of road (37.1%). And contrary to the two types of roads above, the reduction percentages were from 2.8 to 2.5 percentage points higher.

The results based on severe injuries on highways per 100 000 inhabitants, showed more uniform behaviour, with an average reduction percentage of 35.3±4.3% for linear application and 37.3±4.1% for sector application (table 6, page 288). Less variation is due to the higher number of severe injuries on this type of road (49.5% in 2010), and therefore, the severe injury rate on highways per 100 000 inhabitants in the 51 provinces with injuries is higher than the rest of the cases included in the study.

The severe injury rate per 100 000 inhabitants would be reduced from a mean of 18.8±12.4 (2010) to 12.3±7.6

(2020 linear) or 11.9±7.4 (2020 sector). This would contribute significantly to Spain reaching the target set for 2011-2020 with a reduction in absolute values of 2,077 severe injuries for linear application or 2,199 severe injuries for sector application.

The importance of using both territorial and sector application of the Tolón- Becerra *et al.* (2009) methodology may be seen more clearly on this type of road.

Stronger pressure on sectors with more traffic accidents, in this case highways, will enable policymakers to focus more resources and stronger effort on this type of road, and in those provinces with the highest reduction percentages, such that Spain as a whole can reach its 35% reduction target in the number of severe injuries on roads. In addition, highways are located mainly in rural areas, so a stronger pressure should be applied on these territories.

Table 6. Reduction rates weighted as a function of serious injuries per 100 000 inhabitants on highways.**Tabla 6.** Valores objetivos de reducción ponderados en función de heridos graves por 100 000 habitantes en vías convencionales.

Provinces	2010		c = 0.65			c = 0.63			Red. 2020 ^a - 2020 ^b
	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	
Ávila	96	55.8	42.9	55	34.3	44.7	53	33.3	-1.8
Soria	53	55.6	42.9	30	34.5	44.7	29	33.4	-1.8
Huesca	99	43.3	41.5	58	26.7	43.4	56	25.8	-1.9
Cuenca	93	42.7	41.5	54	27.1	43.3	53	26.3	-1.9
Lugo	145	41.0	41.2	85	26.1	43.1	83	25.3	-1.9
...									
Spain	5.934	12.6	35.0	3.857	8.4	37.1	3.735	8.1	-2.1
...									
Barcelona	455	8.3	30.8	315	5.9	33.0	305	5.7	-2.2
Valencia	188	7.3	29.8	132	5.3	32.0	128	5.2	-2.2
Las Palmas	64	5.9	28.1	46	4.1	30.3	45	4.0	-2.3
Ceuta	4	5.0	26.7	3	3.3	29.0	3	3.2	-2.3
Madrid	167	2.6	20.6	133	2.1	23.1	128	2.0	-2.5

Proposed reduction percentages for the number of severe injuries on local roads

The reduction percentages found for local roads with the linear application of the Spanish target had the second lowest average (28.7±14%) of the types of road.

With sector application, although the average reduction percentage went down (18.8±10.7%), it was still the third highest (table 7, page 289).

Like the other types of road analysed above, the provinces with the highest severe injuries per 100 000 inhabitants indicator had the highest reduction percentages. The indicator in the range of 0.1-6.0 was reduced to 0.1-3.5 (2020 linear) or to 0.2-4.1 (2020 sector) severe injuries per 100 000 inhabitants.

Reduction percentages proposed for the number of severe injuries on service roads

Severe injuries were lowest on service roads in 2010 (18) and also occurred in

the fewest provinces compared to other types of roads (13).

After linear application of the methodology to all the types of roads in the Spanish reduction target, five of the 13 provinces with severe injuries had a reduction percentage higher than the one for Spain, but in practice, the reduction in injuries is one per province (Lugo, Cordoba, Bizkaia, Cadiz and Alicante).

In the remaining seven provinces, the low number of severe injuries (1) yielded zero percent reduction as a result.

When the methodology was applied to sectorize to the Spanish target by type of road, reduction percentages of zero percent were found for the 13 provinces. This was the result not only because of the low number of severe injuries in the starting year (2010), but also because of the high residual coefficient found for this type of road ($c=0.97$).

Table 7. Reduction rates weighted as a function of serious injuries per 100 000 inh. on local roads.

Tabla 7. Valores objetivos de reducción ponderados en función de heridos graves por 100 000 habitantes en caminos vecinales.

Provinces	2010		c = 0.65			2020 ^a			c = 0.77			2020 ^b			Red. 2020 ^a - 2020 ^b
	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate				
Cuenca	13	6.0	46.1	7	3.5	36.5	8	4.1	9.6						
Teruel	8	5.5	45.6	4	3.2	35.9	5	3.8	9.7						
Huesca	11	4.8	44.8	6	2.8	34.9	7	3.3	9.9						
Ávila	7	4.1	43.6	4	2.5	33.6	5	2.9	10.1						
Almería	22	3.2	41.9	13	1.8	31.5	15	2.1	10.4						
...															
Spain	321	0.7	35.0	209	0.5	23.4	246	0.5	11.6						
...															
Las Palmas	2	0.2	0.0	2	0.2	0.0	2	0.2	0.0						
Bizkaia	2	0.2	0.0	2	0.2	0.0	2	0.2	0.0						
Jaén	1	0.1	0.0	1	0.1	0.0	1	0.2	0.0						
La Rioja	1	0.3	0.0	1	0.3	0.0	1	0.3	0.0						
Zamora	1	0.5	0.0	1	0.4	0.0	1	0.5	0.0						

Reduction percentages proposed for the number of severe injuries on interchange ramps

Similar results were found for the reduction percentages on interchange ramps, since only seven of the 19 provinces where there were severe injuries had reduction percentages other than zero when the Spanish target was applied linearly. When the application was sectorized, only three provinces had reduction percentages.

Like the service roads, there were very few serious injuries on interchange ramps in 2010 (45), yielding as a result a high total residual coefficient ($c=0.90$) in sector application of the Spanish target, which yielded the results described above.

Reduction percentages proposed for the number of severe injuries on other types of road

The second highest number of severe injuries occurred on those considered "Other types of road" (table 8, page 290), and reduction percentages were found for 50 of the 51 provinces with severe injuries in 2010 as a result of the application of the methodology in this study.

The mean reduction percentage was $30.1\pm 8.1\%$ for linear application and $30.8\pm 8.1\%$ for sector application, with dispersion similar to the one for total severe injuries on Spanish roads. Melilla, the autonomous city, stands out because in spite of its low number of severe injuries compared to the other provinces, it had the highest reduction percentages (42.1 and 42.7%). This is because of the high number of severe injuries per 100 000 inhabitants resulting from its small population.

Table 8. Reduction rates weighted as a function of serious injuries per 100 000 inhabitants on other types of road**Tabla 8.** Valores objetivos de reducción ponderados en función de heridos graves por 100 000 habitantes en otro tipo de vía.

Provinces	2010		c = 0.65	2020 ^a		c = 0.64	2020 ^b		Red.
	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	Red. (%)	SI	SI rate	2020 ^a - 2020 ^b
Melilla	25	32.9	42.1	14	16.2	42.7	14	16.1	-0.6
Zaragoza	194	19.9	39.2	118	12.3	39.8	117	12.2	-0.6
Lleida	83	18.9	38.9	51	12.0	39.5	50	11.9	-0.6
Tarragona	138	17.1	38.2	85	11.0	38.9	84	10.9	-0.6
Palencia	27	15.7	37.7	17	10.5	38.3	17	10.4	-0.6
...									
Spain	4.145	8.8	35.0	2.694	5.8	35.6	2.668	5.8	-0.6
...									
Islas Baleares	14	1.3	15.8	12	1.0	16.6	12	1.0	-0.8
A Coruña	12	1.0	13.5	10	0.9	14.3	10	0.9	-0.9
Huelva	5	1.0	12.4	4	0.8	13.3	4	0.8	-0.9
Murcia	12	0.8	10.3	11	0.7	11.2	11	0.7	-0.9
Cantabria	1	0.2	0.0	1	0.2	0.0	1	0.2	0.0

The least differences were observed between the two applications of the methodology on this type of road due to the similar residual coefficient found for sector application ($c=0.64$).

Severe injury rates per population forecast for 2020

According to the results found for the total severe injuries per province and type of road, the original dispersion in severe injury rates per population among the provinces would be reduced even more over time, leading to convergence as observed in figure 3 (page 291).

In general, the mean and dispersion of values diminishes over time, especially due to the greater decrease in those areas which have high starting severe injury rates per population, as also shown by Wegman *et al.* (2005).

Variation in the severe injury rates per population go from a range of

27.9-184.8 (84.3 ± 31.7) in 2000, to 5.3-155.7 (63.4 ± 33.5) in 2005, 9.4-80.3 (32.5 ± 15.7) in 2010, 7.1-48.0 (22.1 ± 9.1) in 2014 and finally to 8.7-41.8 (20.3 ± 7.5) in 2020, for total severe injuries in the Spanish provinces.

In 2014-2020, the reduction is smaller because of the effort made in the last few years, where stronger reductions are observed in those provinces with the highest severe injury rates per population. It should also be considered that the population trend for Spain and its provinces is negative, that is, a reduction in population is forecast for 2020.

A similar situation is observed on each type of road, with more real convergence in 2014, which would generally be maintained in 2020 based on the reduction percentages proposed. Like the total severe injuries on Spanish roads, the increases found in the severe injury rate per 100 000 inhabitants is due to the negative trend in population.

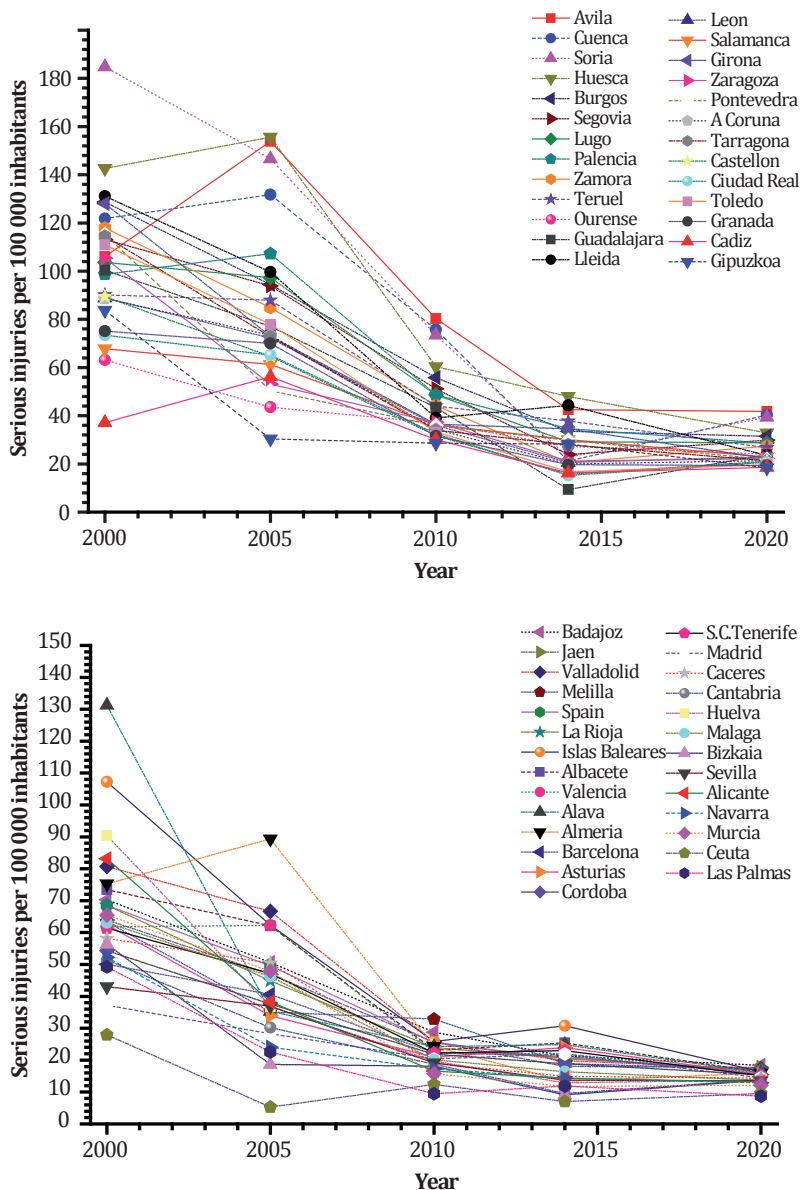


Figure 3. Evolution of serious injuries per 100 000 inhabitants in Spanish provinces in 2000-2014 and forecast for 2015-2020.

Figura 3. Evolución del número de heridos graves por 100 000 habitantes en las provincias españolas en el período 2000-2014 y previsión para 2015-2020.

The most convergence was observed for highways, where 56% of severe injuries occurred in 2010, with variation in severe injury rates per population within a range of 0-150.7 (48.0 ± 27.4) in 2000, 0-120.3 (38.6 ± 26.8) in 2005, 0-55.8 (18.7 ± 12.2) in 2010, 0-36.0 (10.3 ± 6.8) in 2014 and finally 0-33.4 (11.9 ± 7.4) in 2020 (sector application).

The reduction observed in the number of severe injuries from 2010 to 2014 was very positive, with severe injury rates per 100 000 inhabitants generally below those proposed in the study. This would show that policies applied in recent years have been positive for reducing traffic accident rates and that Spain as a whole could reach the target proposed for 2020.

A similar situation was observed for severe injuries in other types of roads, where the second highest number of severe injuries in Spain occurred (27% in 2010).

On expressways, where 10% of severe injuries occurred, the rates found were generally lower than in 2014. Therefore, stronger road safety policies are required for this type of road to reach the Spanish target.

The results for the different types of road highlight the need for a greater effort to be made by the provinces which have a worse starting situation. Based on the effort that these provinces make, greater convergence could be reached in the severe injury rate per population in 2020, and achieve more uniform road safety among the Spanish provinces. In addition, the proposed methodology could be extrapolated to other regions, such as Argentina or other Latin countries, where road accidents data could be analyzed and used to set road targets by regions and type of roads, in order to reach national road accidents reduction targets.

CONCLUSION

The results presented in this study seek to provide Spanish Policymakers with a wider vision on achievement of the Spanish road safety policy target by offering a variety of alternatives for sector and territory distribution of the target set for Spain. In this study, the methodology by Tolón-Becerra *et al.* (2013) was applied in two ways, on the territorial level by finding reduction targets for the number of severe injuries by province, and by sector, as a function of the type of road where the injuries occurred.

The various results found for each of the scenarios reinforces the need to sectorize and apply differentiated road safety policies in each of the territories, such that their application in the various regions that comprise Spain are adjusted to their intrinsic characteristics, mainly for rural areas where the factors influencing accidents rates differ from urban areas. Likewise, sectorized policies which in this study were the type of road where the traffic accident rates were caused, should be applied so that government action can focus its technical and economic efforts on those sectors with the least road safety. But all the territories and sectors as a whole must always contribute to the general target set, in this case a 35% reduction in severe injuries in Spain. This methodology can be applied in other regions, such as Argentina, where national efforts for reducing road accidents could be distributed among territories and sectors.

The results found tend to reduce the disparities in relative accident rates among provinces and to provide citizens with more uniform road safety throughout Spain. Not only a decrease in the mean number of severe injuries per population is proposed, but also of the variation existing among provinces and by type of road.

Application of the methodology using severe injuries per kilometre road as a relative indicator would enable more realistic targets to be found since this indicator would make a better analysis of traffic accident rates possible. But the data per kilometre by type of road and province are not available from official agencies, a situation which should be improved to provide researchers and policymakers with more information for decision-making on road safety.

REFERENCES

1. Aarts, L. T.; Houwing, S. 2015. Benchmarking road safety performance by grouping local territories: A study in the Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice Articles*. 74: 174-185.
2. Berg, H. Y.; Ifver, J.; Hasselberg, M. 2016. Public health consequences of road traffic injuries- Estimation of seriously injured persons based on risk for permanent medical impairment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 38: 1-6.
3. Clark, D. E.; Cushing, B. M. 2004. Rural and urban traffic fatalities, vehicle miles, and population density. *Accident Analysis Prevention*. 36: 967-972.
4. Dirección General de Tráfico (DGT). 2011. *Estrategia de Seguridad Vial 2011-2020*. Dirección General de Tráfico. Madrid. 237 p.
5. Dirección General de Tráfico (DGT). 2015. *Anuario estadístico de accidentes 2014*. Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico. 194 p.
6. Eksler, V. 2010. Measuring and understanding road safety performance at local territorial level. *Safety Science*. 48(9): 1197-1202.
7. Eksler, V.; Lassarre, S.; Thomas, I. 2008. Regional analysis of road mortality in Europe. *Journal of the Royal Institute of Public Health*. 122: 826-837.
8. Eksler, V.; Lassarre, S. 2008. Evolution of road risk disparities at small-scale level: example of Belgium. *Journal of Safety Research*: 39(4): 417-427.
9. Elvik, R. 1993. Quantified road safety targets: A useful tool for policy making? *Accident Analysis and Prevention*. 25(5): 569-583.
10. Elvik, R. 2008. Road Safety management by objectives: A critical analysis of the Norwegian approach. *Accident Analysis and Prevention*. 40: 1115-1122.
11. Elvik, R. 2010. Strengthening incentives for efficient road safety policy priorities: The roles of cost-benefit analysis and road pricing. *Safety Science*. 48: 1189-1196.
12. European Commission (EC). 2010. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *Towards a European road safety area: policy orientations on road safety 2011-2020*. COM(2010) 389 final. Brussels. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52010DC0389> (fecha de consulta: 10/10/2016)
13. Global Road Safety Partnership. 2008. *Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners*. Geneva. 196p.
14. Hermans, E.; Brijs, T.; Wets, G. 2008. Developing a theoretical framework for road safety performance indicators and a methodology for creating a performance index. *Steunpunt mobiliteit en openbare werken-spoor verkeersveiligheid*. 85 p.
15. Hermans, E.; Brijs, T.; Wets, G.; Vanhoof, K. 2009. Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis. *Accident Analysis and Prevention*. 41: 174-182.
16. Holló, P.; Eksler, V.; Zukowska, J. 2010. Road safety performance indicators and their explanatory value: A critical view based on the experience of Central European countries. *Safety Science*. 48: 1142-1150.
17. Hughes, B. P.; Anund, A.; Falkmer, T. 2015. System theory and safety models in Swedish, UK, Dutch and Australian road safety strategies. *Accident Analysis and Prevention*. 74: 271-278.
18. Instituto Nacional de Estadística. 2016. *Cifras de población y Censos demográficos*. Disponible en: http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_inicio.htm (fecha de consulta: 10/10/2016).

18. Johnston, I. R. 2006. Highway safety. In: Fwa, T. F. (Ed.), *The Handbook of Highway Engineering*. Taylor and Francis. New York.
19. Johnston, I. 2010. Beyond "best practice" road safety thinking and systems management - A case for culture change research. *Safety Science*. 48: 1175-1181.
20. Loo, B. P. Y.; Hung, W. T.; Lo, H. K.; Wong, S. C. 2005. Road safety strategies: a comparative framework and case studies. *Transport Reviews*. 25: 613-639.
21. Orden INT/2223/2014, de 27 de octubre, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-12411 (fecha de consulta: 10/10/2016).
22. Shen, Y.; Hermans, E.; Bao, Q.; Brijs, T.; Wets, G. 2015. Serious Injuries: An additional indicator to fatalities for road safety benchmarking. *Traffic Injury Prevention*. 16(3): 246-253.
23. Sze, N. N.; Wong, S. C.; Lee, C. Y. 2014. The likelihood of achieving quantified road safety targets: A binary logistic regression model for possible factors. *Accident Analysis and Prevention*. 73: 242-251.
24. Theofilatos, A.; Yannis, G. 2014. A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis and Prevention*. 72: 244-256.
25. Tolón-Becerra, A.; Lastra-Bravo, X.; Bienvenido-Bárcena, F. 2009. Proposal for territorial distribution of the 2010 EU road safety target. *Accident Analysis and Prevention*. 41: 1008-1015.
26. Tolón-Becerra, A.; Lastra-Bravo, X.; Flores-Parra, I. 2013. National and regional analysis of road accidents in Spain. *Traffic Injury Prevention*. 14(5): 486-95.
27. Townsend, E.; Avenoso, A. 2008. "Road Safety as a right and responsibility for all" A Blueprint for the EU's 4th Road Safety Action Programme 2010-2020. European Transport Safety Council. Brussels.
28. Trinca, G. W.; Johnston, I. R.; Campbell, B. J.; Haight, F. A.; Knight, P. R.; Mackay, G. M.; McLean, A. J.; Petrucelli, E. 1988. In: *Reducing Traffic Injury -A Global Challenge*. Royal Australasian College of Surgeons. Melbourne.
29. Wegman, F.; Eksler, S.; Hayes, S.; Lynam, D.; Morsink, P.; Oppe, S. 2005. SUNflower+6: A comparative study of the development of road safety in European countries. SWOV, Final Report. Leidschendam. 83 p.
30. Wegman, F.; Aarts, I.; Bax, C. 2008. Advancing sustainable safety National road safety outlook for The Netherlands for 2005-2020. *Safety Science*. 46: 323-343.
31. Wegman, F.; Oppe, S. 2010. Benchmarking road safety performances of countries. *Safety Science*. 48: 1203-1211.
32. Weijermars, W.; Bos, N.; Stipdonk, H. L. 2016a. Health burden of serious road injuries in the Netherlands. *Traffic Injury Prevention*. 17(8): 863-869.
33. Weijermars, W.; Bos, N.; Stipdonk, H. L. 2016b. Serious road injuries in The Netherlands dissected. *Traffic Injury Prevention*. 17(1): 73-79.
34. Wesemann, P.; van Norden, Y.; Stipdonk, H. 2010. An outlook on Dutch road safety in 2020; future developments of exposure, crashes and policy. *Safety Science*. 48: 1098-1105.
35. Wong, S. C.; Sze, N. N. 2010. Is the effect of quantified road safety targets sustainable? *Safety Science*. 48: 1182-1188.
36. Wong, S. C.; Sze, N. N.; Yip, H. F.; Loo, B. P. Y.; Hung, W. T.; Lo, H. J. 2006. Association between setting road safety targets and road fatality reduction. *Accident Analysis and Prevention*. 38: 997-1005.
37. Yannis, G.; Papadimitriou, E.; Antoniou, C. 2008. Impact of enforcement on traffic accidents and fatalities: A multivariate multilevel analysis. *Safety Science*. 46: 738-750.
38. Zwerling, C.; Peek-Asa, C.; Whitten, P. S.; Choi, S-W.; Sprince, N. L.; Jones, M. P. 2005. Fatal motor vehicle crashes in rural and urban areas: decomposing rates into contributing factors. *Injury Prevention*. 11: 24-28.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by grants from the Spanish Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) and European Regional Development Fund (ERDF), Project CTM 2013-41750-P: "Territorial and sector target distribution model for evaluating sustainability using indicators".

Sustainable use of rangelands of the Mendoza plain (Argentina)

Uso sustentable de los pastizales de la llanura de Mendoza (Argentina)

Juan Carlos Guevara, Oscar Roberto Estevez

Originales: *Recepción:* 09/05/2017 - *Aceptación:* 24/08/2017

INDEX

Abstract and keywords	296
Resumen y palabras clave	296
Introduction	297
Location, biogeographic characteristics and production systems of Mendoza plain	297
Carrying capacity estimation	299
Use of cactus as drought insurance and its advantages and restrictions	302
Economic feasibility of cactus plantations in the mendoza plain Plantations for cattle	304
Introduction of cactus into goat- production systems	304
Conclusions	305
References	306

REVIEW

Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas
(IADIZA- CCT- CONICET Mendoza) Avda. Adrián Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San
Martín. 5500 Mendoza. Argentina. jguevara@mendoza-conicet.gob.ar.

ABSTRACT

This review includes the location, the biogeographic characteristics and the production systems of the Mendoza plain. The procedure for estimating the carrying capacity for cattle was described. For its evaluation, annual forage production was estimated from the dependable annual rain ($f(0.8)$) and the rain-use efficiency factor ($\text{kg DM ha}^{-1} \text{ year}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). The yearlong proper use factor of available forage was 30%, while the herbaceous and woody accessible layers to cattle were 80% and 50%, respectively. The estimated carrying capacity was, on average, 24.3 ha AU^{-1} . This evaluation, denoted the need to have forage reserves from 2 years, in 10 not included in the model. The use of spineless cactus was considered as buffer feed reserve. Its benefits and restrictions are mentioned. The major limitation to plantations of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. for fodder in Mendoza plain is cold winter temperatures. To overcome this constraint, ten progenies of the interspecific cross between *Opuntia lindheimerii* Engelm. (cold hardy) and *O. ficus-indica* were examined for freezing hardiness. Due to the great importance of cactus as suitable crop for livestock production in arid areas, the economic feasibility of its plantation for both cattle and goat production systems was included in the review.

Keywords

carrying capacity • *Opuntia* spp. • economic feasibility • cattle • goats • rangelands • sustainability

RESUMEN

Esta revisión incluye la ubicación, las características biogeográficas y los sistemas de producción de la llanura de Mendoza. El procedimiento para estimar la receptividad de la misma para ganado bovino fue descrito. Para su evaluación, la producción anual de forraje fue estimada sobre la base de la lluvia anual confiable ($f(0,8)$) y el factor de eficiencia de uso de la lluvia ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). El factor de uso apropiado durante el año del forraje disponible fue 30%, mientras que los estratos de herbáceas y leñosas accesibles para el ganado fueron 80% y 50%, respectivamente. La receptividad estimada fue, en promedio, $24,3 \text{ ha UA}$. Esta evaluación denota la necesidad de contar con reservas de forraje para los 2 años en 10 no incluidos en el modelo. El uso de cactus sin espinas fue considerado como reserva de forraje de amortiguación. Se mencionan sus beneficios y limitaciones. La restricción principal para las plantaciones de *O. ficus-indica* para forraje en la llanura de Mendoza es la temperatura fría del invierno. Para superar este inconveniente, diez progenies de la cruce interespecífica entre *Opuntia lindheimerii* Engelm. (resistente al frío) y *O. ficus-indica* fueron examinadas por su resistencia al congelamiento. Debido a la gran importancia del cactus como cultivo apropiado para la producción de ganado en zonas áridas, la factibilidad económica de su plantación para los sistemas de producción de bovinos y caprinos fue incluida en la revisión.

Palabras clave

capacidad de carga • *Opuntia* spp. • factibilidad económica • ganado bovino • caprinos • tierras de pastos • sostenibilidad

INTRODUCTION

The major use of rangelands is grazing or browsing by livestock and wild herbivores. Semiarid and arid rangelands are often fragile and subjected to accelerated soil erosion if not managed appropriately. If rangelands are mismanaged, so that plants fail to provide sufficient soil cover, the composition of plant community changes, resulting in reduced productivity and increased erosion. Continued abuse of the rangeland system can also result in severe land degradation (23). In this sense, the importance of a correct stocking rate to achieve sustained productivity, the effects of high stocking rates on the decline of livestock productivity, the increase of financial risk and the reduction of long-term economic returns, have been strongly emphasized (22, 24, 34). This review focuses on the importance of determining the carrying capacity of the Mendoza plain and its complementation with the plantation of *O. ficus indica*.

Location, biogeographic characteristics and production systems of Mendoza plain

Mendoza province (32°52'57" S; 68°49'19" W) is located in the central west of Argentina. It covers 148,827 km². The plain is situated approximately in the eastern half of Mendoza province and it represents about 38% of the mentioned area.

The vegetation of the Mendoza plain is typical of the Monte phytogeographic province, in which it occupies a geographically central position (32). Vegetation is an open xerophytic savanna and shrubland of *Prosopis flexuosa* DC. The herbaceous layer consists mainly of warm-season perennial grasses.

The shrub layer is made by species of 0.3 to 3.0 m high, and total canopy cover, under best range conditions, may achieve 60 to 80% (12).

The main plant species present, classified according to different life-form, life-cycle and use by cattle, are detailed in table 1 (page 298) (19).

The bioclimatic conditions may be labelled as warm-arid. The long term mean annual precipitation ranges from 150 mm in the north-eastern to 400 mm in the southeast, with a mean annual temperature varying from 13°C in the south, to 20°C in the north (14).

According to the American classification, most of soils are Entisols of the Psamment order and Torripsamment group (33). Soils in the Ñacuñán Biosphere Reserve, located in the centre of the plain (34°02' S; 67°54'W; 540 m a. s. l.) are predominantly deep and silty with sandy patches and local sand sheets covering the alluvium substrate. They present the following characteristics (33): 7.1 < pH < 7.9 (fair); 0.5 < SAR < 6.0% (fair), with one exception in the deep layer (130-230 cm in sub sites dominated by *Cercidium praecox* (Ruiz & Pav.) Harms where SAR = 13.2% (high); 0.1 < organic matter < 0.6% (very low); 1.5 < C/N < 7.5 (very low); 0.9 < CaCO₃ < 6.9% (fair), with one exception of 20.4%; 168 < N < 1,200 ppm (very low to high); 10 < P < 70 ppm (low); 812 < K < 2,300 ppm (high to very high); 0 < clay < 20%; 1.5% < silt < 80%; 20% < sand < 95%; 0.5 < EC < 10 mScm⁻¹.

Six production systems have been studied in the Mendoza arid zone, which have clearly defined characteristics (9). Two of them are located in the Mendoza plain.

The so-called "subsistence system" includes, among other areas, the north-eastern of the plain. It has the following characteristics. Livestock activity constitutes the way of life of the producer, who resides in the farm and contributes with all or a large part of the required labour.

Table 1. Main plant species present in the Mendoza plain classified according to their life-form, life cycle and use by cattle.

Tabla 1. Principales especies de plantas presentes en la llanura de Mendoza clasificadas de acuerdo con sus formas de vida, ciclo de vida y uso por los bovinos.

Specie	Life-form	Life cycle	Use by cattle
<i>Acantholippia seriphioides</i> (A. Gray) Moldenke	S	P	NF
<i>Aristida inversa</i> Hack.	G	P	NF
<i>Aristida mendocina</i> Phil.	G	P	F
<i>Bouteloua aristidoides</i> Griseb.	G	A	F
<i>Capparis atamisquea</i> Kuntze	S	P	F
<i>Chloris castilloniana</i> Lillo & Parodi	G	P	F
<i>Condalia microphylla</i> Cav.	S	P	NF
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	H	A	F
<i>Cottea pappophoroides</i> Kunth	G	P	F
<i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard	G	P	F
<i>Fabiana denudata</i> Miers	S	P	NF
<i>Junellia seriphioides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke	S	P	NF
<i>Larrea divaricata</i> Cav.	S	P	NF
<i>Lycium chilense</i> Miers & Bertero var. <i>minutifolium</i> (J. Rémy) Terracino	S	P	F
<i>Monttea aphylla</i> (Miers) Hauman	S	P	NF
<i>Panicum urvilleanum</i> Kunth	G	P	F
<i>Pappophorum philippianum</i> Parodi	G	P	F
<i>Prosopidastrum globosum</i> (Gillies ex Hook. & Arm.) Burkart	S	P	F
<i>Prosopis flexuosa</i> DC.	T	P	F
<i>Prosopis flexuosa</i> DC. var. <i>depressa</i> F.A. Roig	S	P	F
<i>Setaria leucopila</i> K. Schum.	G	P	F
<i>Sporobus cryptandrus</i> A. Gray	G	P	F
<i>Stipa tenuis</i> Phil.	G	P	F
<i>Tragus berteronianus</i> Schult.	G	A	F

G: grass; S: shrub; T: tree; H: herb; P: perennial; A: annual; F: forage; NF: non-forage.

G: gramínea; S: arbusto; T: árbol; H: hierba; P: perenne; A: anual; F: forrajera; NF: no forrajera

The sociocultural environment has determined a low training context of the producer, resulting in low attached importance to the vegetal resource conservation, on which he depends exclusively.

The presence of goats, in important proportions is linked to the need for self-sufficiency of meat. In the cases in which the farm income exceeds the expenses necessary to meet the family primary needs, the surplus is destined

to increase the animal quantity. This is the strategy adopted by the producer to ensure the farm continuity and the reason why land ownership does not lead to a major infrastructure investment.

Another system, called of "profitability and/or personal valuation" includes the farms located in the central and southeast of the plain. They present the following particularities. The producer lives off the farm, manages it through salaried employees and the farm activity constitutes for him, one among other economic activities. The influence of external factors is favourable or less limiting than in the system firstly described. Almost exclusively cattle are exploited. There is a direct relationship between land ownership and infrastructure investment. Producers are more progressive than those of the other system and pay more attention to vegetal resource conservation.

Conversely, in the extensive cow-calf model in the southwest of Mendoza Province the main critical points were found in the social sphere, due to the limitation on the access to public services, poor training and associativity. The economic risk was the sustainability threshold due to the lack of marketing channels, high dependence on external inputs and low production efficiency (31).

Carrying capacity estimation

The most adequate conceptual framework to understand the factors determining the carrying capacity of animal production systems, is the model of energy flux. It suggests that domestic herbivores may consume only a proportion of Aboveground Net Primary Productivity (ANPP), known as Harvest Index, to make a sustainable use of rangelands ecosystems.

The carrying capacity of a forage resource results from a complex network of environmental factors linked to the

availability of forage (rainfall, soil texture and fertility, floristic composition, etc.), environmental factors non-fodder (animal water availability, predators' incidence, extreme cold or heat, floods, snowfalls, etc.) and management factors (instantaneous grazing pressure, grazing method, energy subsidies, etc).

All of these factors interact, in turn, with the producer's decisions, which reflect his business objectives and the level of risk he assumes (7).

For estimating the cattle carrying capacity of the Mendoza plain the following factors were considered (10). Annual forage production was estimated from the dependable annual rains (f 0.8) for each of the six subzones of the plain because it constitutes one of the most common dependability indexes (12).

The rain-use efficiency factors ($\text{kg DM ha}^{-1} \text{ year}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) were 2.15 and 1.4 for the herbaceous and shrub forage, respectively. The herbaceous layer accessible to cattle was 80%, and browse 50%. The inclusion of woody species in the forage supply responded to their important participation in the cattle diet in the dry season: fall-winter (13) (table 2, page 300).

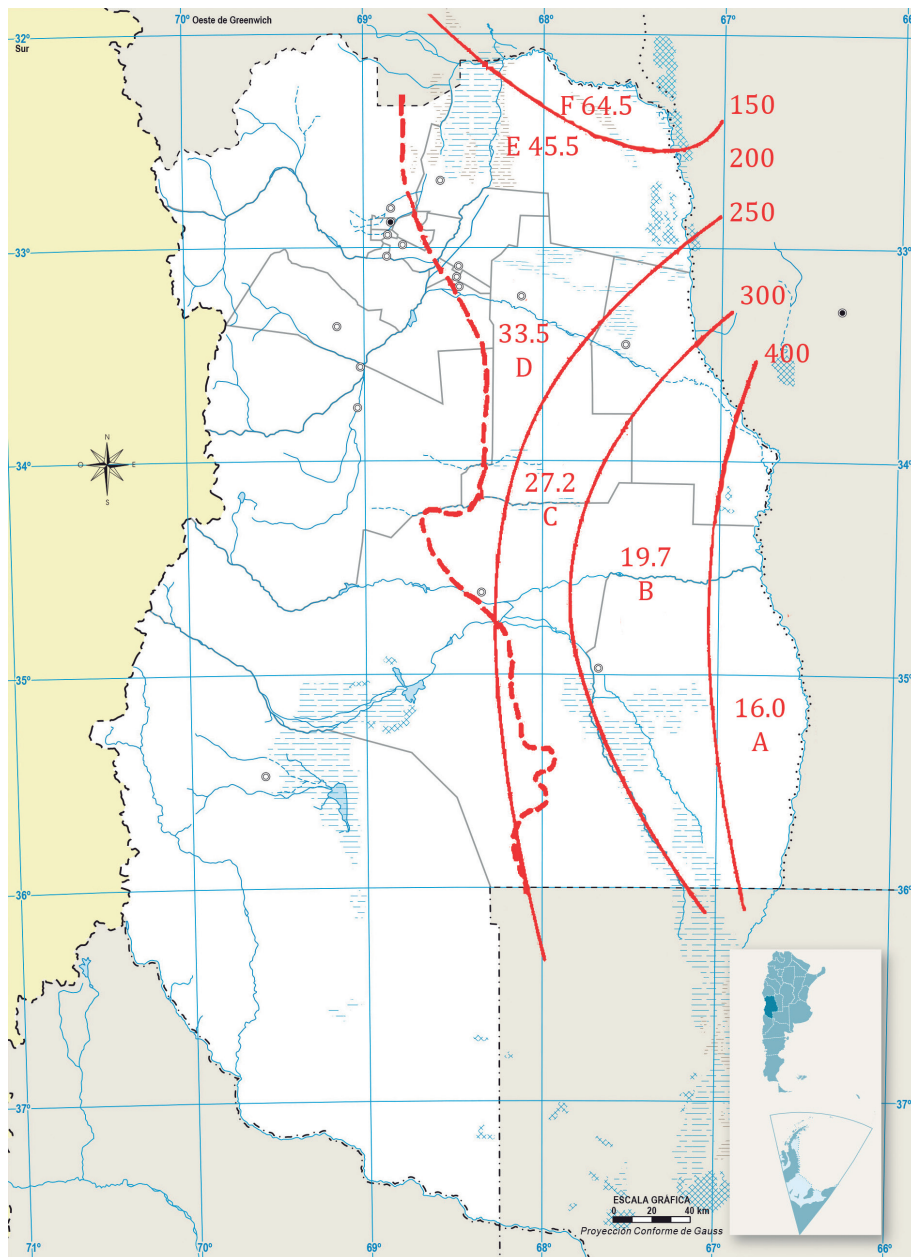
The yearlong proper use factor of available forage was 30%, given there is a growing consensus that only 25 to 30% of the maximum standing crop (MSC) of herbage should be considered as consumable forage when carrying capacity is calculated, rather than the level of 40 to 50% that used for other rangeland ecosystems (12). Further details on the procedure used for the carrying capacity estimation can be found in Guevara *et al.* (1995). The estimated carrying capacity was, on average, 24.3 ha AU^{-1} . It ranged from 64.5 and 16.0 ha AU^{-1} in the north-eastern and southeast of the plain, respectively (figure 1, page 301) (10).

Table 2. Botanical composition (% weight) of cattle seasonal diets.
Tabla 2. Composición botánica (% en peso) de las dietas estacionales de los bovinos.

Food items	Mean dietary composition (\pm S. D.)		
	RSB	RSH	DSB/DSH
Grasses			
<i>Aristida</i> sp.	2.1 (2.2)	2.8 (1.7)	1.1 (0.9)
<i>Bouteloua aristidoides</i>	+	5.1 (3.4)	1.3 (1.6)
<i>Chloris castillaniana</i>	11.2 (4.7)	12.1 (1.9)	9.0 (6.0)
<i>Digitaria californica</i>	10.0 (5.9)	5.5 (4.0)	5.8 (2.7)
<i>Panicum urvilleanum</i>	21.9 (1.4)	25.6 (7.1)	10.7 (4.2)
<i>Pappophorum philippianum</i>	5.0 (2.5)	7.8 (2.6)	3.9 (1.7)
<i>Setaria leucopila</i>	6.6 (4.9)	6.8 (2.7)	5.4 (4.2)
<i>Sporobolus cryptandrus</i>	7.3 (4.6)	14.1 (7.2)	5.8 (2.7)
<i>Stipa</i> sp.	+	1.6 (2.4)	+
Others	+	2.6 (2.3)	+
Total	65.8 (2.9)	84.0 (3.6)	44.9 (3.8)
Forbs			
<i>Chenopodium papulosum</i>	2.1 (2.1)	+	4.4 (8.2)
<i>Cucurbitella asperata</i>	+	1.6 (1.5)	+
<i>Gomphrena mendocina</i>	+	2.6 (4.8)	1.5 (3.5)
Others	+	2.1 (1.9)	+
Total	2.7 (2.3)	6.4 (4.9)	6.4 (8.6)
Shrubs and trees			
<i>Capparis atamisquea</i>	4.9 (1.8)	2.1 (2.7)	10.8 (5.0)
<i>Ephedra ochreatea</i>	5.3 (1.8)	+	3.8 (4.1)
<i>Hyalis argentea</i> var. <i>latisquama</i>	12.2 (5.6)	4.2 (2.3)	29.3 (5.5)
<i>Lycium chilense</i> var. <i>minutifolium</i>	5.1 (2.4)	+	1.5 (0.8)
<i>Prosopis flexuosa</i> var. <i>flexuosa</i>	3.6 (2.3)	+	2.3 (1.2)
Others	+	+	+
Total	31.4 (2.8)	9.6 (4.8)	48.6 (8.2)

RSB=rainy season beginning (spring); RSH=highest point of rainy season (summer); DSB=dry season beginning (fall); DSH=highest point of dry season (winter). +=less than 1%. Species that contributed less than 1% were: *Bromus brevis*, *Cottea pappophoroides*, *Tragus berteronianus* and *Trichloris crinita* (grasses); *Coniza* sp., *Descurainia* sp., *Glandularia tenera*, *Lappula redowskii*, *Lecanophora* sp., *Lepidium* sp., *Plantago patagonica* and *Solanum eleagnifolium* var. *leprosum* (forbs); *Atriplex lampa*, *Bulnesia retama*, *Cassia aphylla*, *Condalia microphylla*, *Fabiana denudata*, *Geoffroea decorticans* and *Prosopidastrum globosum* (shrubs and trees).

RSB: comienzo de la estación lluviosa (primavera); RSH: punto más alto de la estación lluviosa (verano); DSB: comienzo de la estación seca (otoño); DSH: punto más alto de la estación seca (invierno). += menos del 1%. Las especies que contribuyeron menos del 1% fueron *Bromus brevis*, *Cottea pappophoroides*, *Tragus berteronianus* and *Trichloris crinita* (gramíneas); *Coniza* sp., *Descurainia* sp., *Glandularia tenera*, *Lappula redowskii*, *Lecanophora* sp., *Lepidium* sp., *Plantago patagonica* and *Solanum eleagnifolium* var. *leprosum* (hierbas); *Atriplex lampa*, *Bulnesia retama*, *Cassia aphylla*, *Condalia microphylla*, *Fabiana denudata*, *Geoffroea decorticans* and *Prosopidastrum globosum* (arbustos y árboles).



--- Limit of the plain / — Mean annual rainfall / A to F Subzones / 16.0 to 64.5 Carrying capacity (ha AU⁻¹)
 Source: IGN (National Geographic Institute - Argentina).

--- Límite de la llanura / — Lluvia media anual / A a F Subzonas / 16,0 a 64,5 Capacidad de carga (ha UA⁻¹)
 Fuente: IGN (Instituto Geográfico Nacional - Argentina).

Figure 1. Carrying capacity of the Mendoza plain for cattle by subzones in Argentina.

Figura 1. Capacidad de carga de la llanura de Mendoza por subzonas en Argentina.

From the estimation of the carrying capacity, arises the need to have forage reserves standing from 2 years in 10 not included in the estimated model. It is important to have forage reserves for 2 years in 10 since reliable annual rainfall, that is, one that has a probability of occurrence of 80%, has been used for determining the forage production.

In this sense, it is important to bear in mind that the production of natural vegetation is not only related to average rainfall, but also to reliable annual rainfall, that is, those that have a probability of occurrence of 75-80% (12).

Use of cactus as drought insurance and its advantages and restrictions

Plantations of drought-tolerant and water-efficient fodder shrubs, especially *Opuntia* species, have been established as buffer feed reserves, a strategy to mitigate the effects of drought in animal production systems in various arid and semiarid areas of the world. In this strategy, the buffer reserve was aimed not only as "drought insurance" for inter-annual drought but also to bridge over a recurrent annual period of feed scarcity (25).

Opuntia species have the ability to withstand prolonged drought, high temperatures, as well as wind and water erosion (8).

Cactus and other drought-tolerant and water-efficient fodder shrubs can survive under rainfall as low as 50 mm on a particular year, but with neither growth nor production.

Mean annual rainfall of 100-150 mm corresponds to the minimum required to successfully establish rainfed plantations (26), with sandy and deep soils (28).

High mortality of cattle (650,000 head) occurred in northern Mexico between 1993 and 1996 as a consequence of drought. The ranchers with cactus

plantations did not have, in general, great losses of livestock compared with those who did not have cactus.

Moreover, reproduction rates and levels of production of cattle, sheep and goats were superior when the ranchers supplement the normal diet of the livestock with cactus during the dry period (6). In Mexico, there are 230,000 ha cultivated with cactus (30).

In Mendoza, about 25% of bovine stock (115,000 animals) died during the dry period which lasted from late summer to October of 2009. This affected around 1,000 producers in the southwest of Mendoza plain, where 65% of cattle are concentrated (3). Also, in the north-east of the Mendoza plain, as a consequence of the mentioned drought, about 75% of the goats died and the pregnancies decreased by almost 80% (4). Producers of cattle and goats affected by drought did not have cactus plantations. In this regard, public policy and credit are essential in order to increase cultivation of this important plant (29).

The government should consider appropriate incentives for establishing fodder cactus plantations and legal tools favouring security land tenure in some areas of the plain. In this sense, the Mendoza Province Government has proposed to carry out two actions: a) to deliver provincial state lands on property to settlers who are willing to implement productive projects and b) to expropriate private land to those who have a debt to the Irrigation General Department (organism that administers the water resource in Mendoza province) that exceeds the appraisal of the land and that it is not in production.

The purpose of the second action is also to deliver these lands to those who have productive projects (5). It is believed that one of these projects would be precisely cactus plantations for fodder.

There are numerous reasons behind the diffusion of *Opuntia* spp. as forage or fodder around the world, and particularly for *O. ficus-indica*. They include: (a) the simple cultivation practices required to grow the crop; (b) rapid establishment soon after introduction in a new area; (c) easy multiplication practices that favour rapid diffusion and exchange of material among users; (d) ability to grow in very harsh conditions characterized by high temperature, lack of water and poor soil; (e) utilization in programs to prevent soil erosion and combat desertification; and (f) its response to atmospheric CO₂ level increase. These and other facts have contributed to such a wide distribution from the regions of origin in Latin America to remote areas, spanning continents, cultures and traditions (29).

On the other hand, some researchers have evaluated the effect of cactus pear inclusion in small ruminant's diets, finding that it effectively enhanced the meat fatty acids composition by increasing the proportion of the n-3 series and conjugated linoleic acid (CLA) which are beneficial to human health (2).

Under different climatic conditions, the thermal limit for frost-sensitive species such as *O. ficus-indica* is indicated by a mean daily minimum temperature of the coldest month (*m*) of 1.5° to 2.0°C (27).

The major limitation to plantations of *O. ficus-indica* for fodder in Mendoza plain, is cold winter temperatures (21). In fact, when temperature in a site located in the north-center of the plain (El Divisadero Cattle and Range Experiment Station, DCRE, 33°45' S; 67°41' W) dropped to -12.3°C in May 1996, almost all the 7-month-old plants of this specie froze to ground level. Similarly, when

temperatures dropped to -16°C and -17°C on two consecutive days in August 1999, frost damage in the young cladodes from the 9-month-old plants reached 98% and the 3-year-old plants from different *O. ficus-indica* clones exhibited mean frost damage ranging from 19 to 53% (17).

In none of the four sites studied in the Mendoza plain *m* was higher than 1.5°C (18). To overcome the mentioned limitation, ten progenies of the interspecific cross between two wild, spiny Texas native *Opuntia lindheimerii* accession 1250 male parents (cold hardy, red fruits, bluish pads) and a spineless commercial *O. ficus-indica* fruit type Texas A&M University Kingsville (TAMUK) accession 1281 (low cold hardy, spineless, fast growing, red fruits, greenish pads), *O. ficus-indica* and *O. ellisiana* Griffiths were introduced to Mendoza plain and examined for freeze hardiness (20).

The trial was done during the period May-September 2009 with 320 hours with temperatures below 0°C. The number of total hours with temperatures below 0°C and the minimum temperatures were 6 h and -1.8°C, 77 h and -7.1°C, 146 h and -6.1°C, 37 h and -4.7°C, 54 h and -4.7°C in May, June, July, August and September, respectively. Frost damage in the cladodes of clones 42, 64 and 150 was significantly lower than in those of *O. ficus-indica*. Clones 46, 80, 83, 89, 94 and *O. ellisiana* had zero frost damage during the considered period (20).

Cactus could be cultivated also in Carmen de Patagones where *m* is about 2.5°C. The ten progenies of the interspecific cross previously cited could be cultivated in areas of the southwest of Buenos Aires Province with *m* lower than 1.5-2.0°C (1).

Economic feasibility of cactus plantations in the Mendoza plain

Plantations for cattle

The economic feasibility of 50-200 ha cactus plantations for drought fodder and forage production in the plain was examined by simulation models (15). Models were run with 200-400 mm annual rainfall and two management systems: cut and carry (CAC) and direct browsing (DB). Cactus production was estimated from rain-use efficiency factors: 15 kg DM ha⁻¹ year⁻¹ mm⁻¹ for 200 mm of rain, 18.8 kg DM ha⁻¹ year⁻¹ mm⁻¹ for 300 mm and 22.5 kg DM ha⁻¹ year⁻¹ mm⁻¹ for 400 mm.

The value of production was estimated using shadow prices: a) the cost of energy and protein derived from those of concentrates; and b) the price of steer meat on the hoof. Cactus production was found to be feasible in the DB system with 300 mm rainfall on a 100 ha plantation and with 400 mm rainfall on a 50 ha plantation. With 400 mm rainfall, 100-200 ha plantation would be needed if the CAC system was adopted.

The profitability calculations did not take into account the secondary benefits such as runoff and erosion control, climate buffering, increased land fertility, landscaping and amenities, stabilization of animal production and reduction of the amount of water drunk by livestock, and this resulted in a very large underestimation of the economic impact of cactus plantations. Preliminary estimations of some of these benefits are included in the study. The size of cactus plantations necessary to supplement range grazing to 1,576 and 2,273 animal unit year (AUY) in a 37,500 ha cow-calf ranch were estimated to be 123 and 111 ha at 300 and 400 mm rainfall, respectively. If a 3-year cactus production accumulation

and a daily consumption of 36 kg fresh material per AU were assumed, the cactus plantations necessary to feed all the cattle in the 37,500 ha cow-calf model for the entire year would be about 0.3% of the ranch size. The establishment cost of the mentioned plantations would increase the ranch investment by 7.4 to 10% at 400 and 300 mm annual rainfall, respectively. It is necessary to point out that without the incorporation of cactus plantations, the cow-calf operation size necessary to yield positive returns in the Mendoza plains was estimated to be 37,500 ha (11). This surprisingly high ranch size was a consequence of: a) the high level of risk involved with range livestock production.

The producer must balance productivity, stability and sustainability. If the production system offers high average profits (high productivity) but a great deal of year-to-year variation (low stability), or risk the long term productivity of the range (low sustainability), it may be less desirable than a system with somewhat lower productivity but greater stability and sustainability; b) the present cow-calf operation is not, in general, an intensive system *i.e.* early weaning, among other management practices, is not applied and there is no integration with cow-steer husbandry under irrigation farming; c) the meat price assumed in this analysis, representative of the 1986-1995 period, was low (15).

Introduction of cactus into goat-production systems

The study was referred to the north-eastern of the plain (16). A simulation model was run with 50, 100, 150 and 200 does and annual rainfall probabilities (*f*) from 0.1 to 0.9. Investments and costs were derived from data recorded through establishment and monitoring of experimental cactus plantations in the site

previously mentioned (DCRES). Cactus production was based on a rain-use efficiency factor of $12.5 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ year}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ and the annual rainfall probabilities in the area ($f_{0.1} = 273.3 \text{ mm}$ to $0.9 = 76.7 \text{ mm}$).

The CAC management method was considered for pen feeding during 110 days (last third of pregnancy and 60-day lactation) with 3.6 kg fresh material goat⁻¹ day⁻¹. A decrease in goat annual mortality from 10 to 2% and an additional annual amount of kids per goat were considered as direct benefits derived from supplementing goats with spineless cactus in the fall-winter period.

As a consequence of this practice, an additional 0.2 kids appear to be obtainable in field conditions. A secondary benefit was the reduction of water consumption by goats.

The internal rate of return (IRR) corresponding to 0.2 additional kids, and the annual additional amount of kids per goat necessary to reach an IRR equal to the opportunity cost of capital in Argentina (12%), were determined. The establishment cost of cactus plantations ranged from US\$ 525 ha^{-1} (50-head goat herd; $f_{0.1}$) to US\$ 242 ha^{-1} (200-head goat herd; $f_{0.9}$). Cost of fence installation was the main item of establishment costs in most of the analysed scenarios. This cost may be reduced if a fence made of spiny cactus is established.

If dependable annual rains ($f_{0.8}$) were considered, IRR would be lower than the opportunity cost of capital for all goat-herd sizes, and the additional kids per goat required to reach 12% IRR would range from 0.21 to 0.29 for 200 and 50 does, respectively. If the same rainfall probability is considered, the amount of additional kids to reach 12% IRR decrease as goat-herd size increases. The differences are derived from the inverse relationship between the cost of plantation establishment and the goat-herd size.

CONCLUSIONS

The future of the Mendoza plain rangelands depends on: a) the adoption of a sustainable carrying capacity and b) the implementation of suitable crops. Regarding to the carrying capacity it is considered that the use of the dependable annual rain and a factor of use of available forage of 30%, instead of 40-50%, that is assumed for others rangeland ecosystems, would contribute to the sustainability of Mendoza plain rangelands.

The factor of use considered is more conservative due to the fragility of pastoral ecosystems of arid zones. Cactus can meet the second requirement and act as strategic food reserves to mitigate the effects of drought on livestock production systems and it could be successfully developed in the Mendoza plain, provided frost-tolerant species or clones were used.

The studies done so far, such as, identification of *Opuntia* progenies of cold hardiness and also economic feasibility of cactus plantations, are the starting point for further researches. These should address animal performance in both rangeland and feedlot in response to supplementation of its diets with cactus, including it in different forms such as fresh, dehydrated, silage or multi-nutrient blocks.

Others efforts could be directed to provide a propitious abiotic environment for a cactus to achieve higher biomass productivity and improved protein levels by interacting with nurse plants, such as *Prosopis* spp. The establishment costs of cactus plantations appear to be high and out of reach for most livestock producers.

REFERENCES

1. Abraham, E. M.; Guevara, J. C.; Candia, R. J.; Soria, N. D. 2016. Dust storms, drought and desertification in the Southwest of Buenos Aires Province, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 221-241.
2. Aranda-Osorio, G.; Flores-Valdez, C. A. 2011. Calidad de la carne de animales suplementados con nopal, in: Vázquez-Alvarado, F.; Blanco Macías, F.; Valdez-Cepeda, R. D., Santos-Haliskac, A. (Eds.), *Memoria del IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey. Nuevo León, Méjico: Universidad Autónoma de Nuevo León. RESPYN Edición Especial 5: 135-142.* Available on line at [https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiQnsOCmo3SAhXBE5AKHQ2VCRQQFggYMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.respyn.uanl.mx%2Fespeciales%2F2011%2Fee-05-2011%2Fdocumentos%2F\(12\)_gilberto_aranda-calidad_de_la_carne.pdf&usq=AFQjCNGSe2vtc6_YO51Nu08bnPRBxC_OZQ&sig2=LUtC4jEOTeShX1QF-qUF-A&bvm=bv.146786187,d.Y2I](https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiQnsOCmo3SAhXBE5AKHQ2VCRQQFggYMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.respyn.uanl.mx%2Fespeciales%2F2011%2Fee-05-2011%2Fdocumentos%2F(12)_gilberto_aranda-calidad_de_la_carne.pdf&usq=AFQjCNGSe2vtc6_YO51Nu08bnPRBxC_OZQ&sig2=LUtC4jEOTeShX1QF-qUF-A&bvm=bv.146786187,d.Y2I) (accessed: March 2017).
3. Diario Los Andes, Mendoza. 29 octubre 2009. La sequía ya mató a 115.000 vacas. Available on line at: <http://www.losandes.com.ar/noticia/un-454090> (accessed: April 2017).
4. Diario Los Andes, Mendoza. 5 diciembre 2009. Puesteros de Lavalle perdieron hasta el 75% de sus cabras. Sección Economía. 2009; 12. Available on line at: www.losandes.com.ar/noticia/economico-460574. (accessed: March 2017).
5. Diario MDZ, Mendoza, 23 mayo 2012. Tierras fiscales: solo se entregarán a los que tengan proyectos productivos. Available on line at: <http://www.mdzol.com/nota/387640-tierras-fiscales-solo-se-entregaran-a-los-que-tengan-proyectos-productivos/> (accessed: February 2017).
6. Flores Valdez, C. A.; Aranda Osorio, G. 1997. *Opuntia* based ruminant feeding systems in Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development.* 2: 3-8.
7. Golluscio, R. 2009. Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología Austral.* 19: 215-232. Available on line at: <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v19n3/v19n3a05.pdf> (accessed: February 2017).
8. Grünwaldt, J. M.; Guevara, J. C.; Grünwaldt, E. G.; Martínez Carretero, E. 2015. Cacti (*Opuntia* sps.) as forage in Argentina dry lands. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47 (1): 263-282.
9. Guevara, J. C.; Paez, J. A.; Estevez, O. R. 1993. Caracterización económica de los principales sistemas de producción ganadera en el árido mendocino. *Multequina.* 2: 259-273.
10. Guevara, J. C.; Estevez, O. R.; Torres, E. R. 1995. Receptividad de las pasturas naturales de la llanura de Mendoza. *Multequina.* 4: 29-35.
11. Guevara, J. C.; Estevez, O. R.; Stasi, C. R. 1996. Cría de bovinos. Rentabilidad potencial en la llanura mendocina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 28(1): 51-62.
12. Guevara, J. C.; Estevez, O. R.; Torres, E. R. 1996. Utilization of the rain-use efficiency factor for determining potential cattle production in the Mendoza plain, Argentina. *Journal of Arid Environments.* 33: 347-353.
13. Guevara, J. C.; Estevez, O. R.; Stasi, C.; Monge, A. S. 1996. Botanical composition of the seasonal diet of cattle in the rangelands of the Monte Desert of Mendoza, Argentina. *Journal of Arid Environments.* 32: 387-394.
14. Guevara, J. C.; Cavagnaro, J. B.; Estevez, O. R.; Le Houérou, H. N.; Stasi, C. R. 1997. Productivity, management and development problems in the arid rangelands of the central Mendoza plains. *Journal of Arid Environments.* 35: 575-600.
15. Guevara, J. C.; Estevez, O. R.; Stasi, C. R. 1999. Economic feasibility of cactus plantations for forage and fodder production in the Mendoza plains (Argentina). *Journal of Arid Environments.* 43: 241-249.
16. Guevara, J. C.; Estevez, O. R.; Stasi C. R. 1999. Cost-benefit analysis of cactus fodder crops for goat production in Mendoza, Argentina. *Small Ruminant Research.* 34: 41-48.
17. Guevara, J. C.; Gonnet, J. M.; Estevez, O. R. 2000. Frost hardiness and production of *Opuntia* forage clones in the Mendoza plain. *Journal of Arid Environments.* 46: 199-207.

18. 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, Italy. 63-71. Available on line at: <http://www.fao.org/docrep/005/y2808e/y2808e0c.htm#bm12> (accessed: February 2017).
19. Guevara, J. C.; Estevez, O. R.; Stasi, C. R. 2006. Respuesta de la vegetación en un gradiente de intensidad de pastoreo en Mendoza, Argentina. *Multequina*. 15: 27-36.
20. Guevara, J. C.; Felker, P.; Balzarini, M. G.; Paez, S. A.; Estevez, O.; 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.
21. Guevara, J. C.; Grünwaldt, E. G.; Grünwaldt, J. M.; Paez, M. N. 2013. Productivity, nutrient content and cold hardiness of forage clones and progenies of *Opuntia* in Mendoza, Argentina and economic analysis of cactus inclusion in ruminant diets. *Cactusnet Newsletter, Special Issue*. 13: 73-83. Available on line at: <http://www.fao.org/3/a-av251b.pdf> (accessed: February 2017).
22. Heitschmidt, R. K.; Conner, J. R.; Canon, S. K.; Pinchak, W. E.; Walter, 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. Available on line at: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jpa/abstracts/3/1/92?search-result=1> (accessed: February 2017).
23. Herbel, C. H.; Pieper, R. D. 1991. Grazing management, in: Skujins, J. (Ed.). *Semiarid lands and deserts. Soil resource and reclamation*. Marcel Dekker. New York. 361-382.
24. Holechek, J. L.; Pieper, R. D. 1991. Estimation of stocking rate on New Mexico rangelands. *Journal of Soil and Water Conservation*. 47: 116-119.
25. 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 (SCITS) Montpellier*. France. 639-644.
26. Le Houérou, H. N. 1994. Drought-tolerant and water-efficient fodder shrubs (DTFS), their role as a "drought insurance" in the agricultural development of arid and semi-arid zones in southern Africa. WRC. Pretoria. South Africa. Report N° KV 65. 139 p.
27. Le Houérou, H. N. 1995. Bioclimatologie el biogéographie des steppes arides du north de l'Afrique. *Diversité biologique, developpement durable and désertisation. Options Méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches* N° 10. 396 p. Available on line at: <http://om.ciheam.org/om/pdf/b10/C1951183.pdf> (accessed: February 2017).
28. Le Houérou, H. N. 1996. The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*. 33: 135-159.
29. Louhaichi, M.; Nefzaoui, A.; Guevara, J. C. 2017. Cactus ecosystem goods and services, In: Inglese, P.; Mondragón, C.; Nefzaoui, A.; Sáenz, C. (Eds.). *Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO. ICARDA. Rome Italy. 159-169.
30. Nefzaoui, A.; Ben Salem, H. 2006. Cactus: un banco de alimento para ganado en entornos áridos y semiáridos. *CACTUSNET Número Especial* 10: 41-57.
31. Otta, S.; Quiroz, J.; Juaneda, E.; Salva, J.; Viani, M.; Filippini, M. F. 2016. Evaluación de sustentabilidad de un modelo extensivo de cría bovina en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(1): 179-195.
32. Rossi, B. E. 2004. Flora y vegetación de la Reserva de Biósfera de Ñacuñán después de 25 años de clausura. Heterogeneidad espacial a distintas escalas (thesis). Mendoza, Argentina: Programa de Posgrado en Biología de la Universidad Nacional de Cuyo. Available on line at: http://www.desertificacion.gob.ar/mapas/nacunan/bertilde_rossi/Tesis%20Bertilde%20Rossi.pdf (accessed: March 2017).
33. Tanquilevich, R. F. 1991. Los suelos de la reserva ecológica de Ñacuñán. *Deserta*. 2: 131-206.
34. Taylor Jr, C. A.; Garza, N. E.; Brooks, T. D. 1993. Grazing systems on the Edwards Plateau of Texas: are they worth the trouble? I. Soil and vegetation response. *Rangelands*. 15: 53-57.

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo

Normas para la presentación de artículos

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

Dichos trabajos pueden ser artículos de investigación, notas científicas y revisiones. Los primeros son el resultado de la investigación científica teórica, experimental o de campo y significan un aporte original al conocimiento; no deben superar las dieciséis páginas.

Las notas científicas, cuya extensión no debe superar las ocho páginas, son trabajos originales y cuyos resultados -aunque parciales- es importante difundir rápidamente. También entran en esta categoría la descripción de nuevas especies y cultivares, plagas, enfermedades y ajustes de metodologías.

Las revisiones serán elaboradas por especialistas destacados en las disciplinas que se abordan en la Revista. Las mismas serán solicitadas por el Comité Editorial y no deberán superar las veinte páginas.

Declaración de originalidad: los artículos deberán ser originales y no pueden ser presentados simultáneamente en otra revista para su publicación.

A partir del 1 de enero de 2016, para los autores extranjeros, cada página diagramada en blanco y negro, tendrá un costo de 30 dólares, la página a color 50 dólares y la página extra 70 dólares. Para los autores nacionales, los valores serán de 20, 40 y 60 dólares respectivamente. Se recomienda ajustarse al número de páginas establecido.

Los autores de los trabajos podrán pertenecer tanto a la institución editora como a otras facultades, centros de investigación u organismos en los cuales se lleven a cabo investigaciones vinculadas con las temáticas mencionadas precedentemente.

El material, acompañado de una nota solicitando su publicación, será remitido al Centro de Ediciones Académicas de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO: ccea@fca.uncu.edu.ar, de acuerdo con el modelo establecido para tal fin (Descargar nota modelo). El manuscrito deberá enviarse en procesador de texto Word, tamaño de página A4, a doble espacio, con tipografía Cambria, cuerpo 10 (los datos de: figuras, tablas y mapas deben escribirse con igual tipografía). Las líneas deberán enumerarse en el margen izquierdo y las páginas numeradas arriba y a la derecha.

Cada trabajo será sometido a referato: los especialistas (al menos dos), de reconocida trayectoria tanto en el ámbito nacional como internacional, recibirán dicho trabajo y la correspondiente planilla de evaluación. Su función consistirá en revisar críticamente el material presentado y dictaminar respecto de su publicación. El autor puede sugerir algunos evaluadores, quienes podrían ser considerados por el Editor en el proceso de evaluación. El origen de los evaluadores es externo al Comité Editorial, de procedencia nacional e internacional y el sistema de evaluación es "doble ciego". La pertinencia del original es decidida por el Comité Editorial en tanto que su aceptación o rechazo depende del dictamen de los evaluadores o del incumplimiento de la exigencia de originalidad del trabajo. Asimismo, el Editor devolverá a los autores, sin pasar por el proceso de arbitraje, aquellos manuscritos que no se ajusten a las normas de presentación de la Revista.

Para conferir unidad a la publicación, el Centro de Ediciones solicitará, de ser necesario, modificaciones en el título, hará correcciones de estilo y llevará a cabo el diagramado. Concluida esta etapa, se le enviará al primer autor de cada trabajo el PDF para su revisión. Dicho proceso de revisión no deberá superar los siete días corridos. Una vez impresa la Revista, al primer autor de cada artículo se le 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 inglés y en español, 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 inglés (abstract) y en español, 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 inglés (keywords) y en español: 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 inglés y en español, debe ubicarse arriba de las mismas. Cada una debe ser autoexplicativa, vale decir que no exigirá leer el artículo para entenderla. No debe repetirse la misma información en tablas y figuras. No incluir en la tabla ninguna información que no se discuta en el texto. Deberán presentarse en formato MS Word, no como imagen. Cada campo o dato deberá separarse con tabulaciones, nunca con la barra espaciadora. El ancho total no debe exceder los 15 cm. Si hubiera referencias al pie, estas deberán estar en inglés y en español.

Figuras

El título, en inglés y en español, debe ubicarse debajo de las mismas. Si hubiera referencias al pie, deberán estar en inglés y en español. 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

Solo 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.

Resultados

Deberán presentarse en forma clara y concisa, utilizando tablas y figuras y destacando los aspectos más relevantes del trabajo.

Discusión

Interpretación de los resultados, con especial énfasis en coincidencias o diferencias con el marco teórico. Es opcional la autonomía de esta sección ya que puede formar junto con Resultados una sola estructura conceptual.

Conclusiones

Deben ser sintéticas y reflejar hallazgos, soluciones y/o aplicaciones concretas. Deben responder a los objetivos e hipótesis del trabajo.

Bibliografía

Deberá constar en el listado bibliográfico toda referencia citada en el texto. Se adoptará un sistema alfa-numérico, con listado ordenado alfabéticamente por el primer autor. En virtud de ello, en el texto la cita aparecerá con el número que tiene en el listado bibliográfico; dicho número se escribirá en el texto entre paréntesis.

Cada cita bibliográfica deberá constar de los siguientes datos (consultar ejemplos):

- Número correspondiente a la cita.
- Apellido e iniciales de los autores.
- Año de edición de la publicación. Se indicarán las posteriores a la inicial; por ej.: 2001. 3ra ed.
- Título completo de la publicación, en el idioma original. Si fuera una revista, primero se consignará el título del artículo y a continuación el nombre de la Revista, el volumen y/o número y las páginas del artículo.
- Ciudad de edición (país en caso necesario).
- Editorial.
- Número de DOI (Identificador de Objeto Digital), si la cita lo tuviera.

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...>) y 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.

Fotografía para visor

Para favorecer el proceso de gestión editorial y responder a los distintos sistemas de marcación de artículos requeridos por las bases de datos donde la Revista se encuentra indizada, es necesario que los autores envíen junto con el manuscrito del artículo, una fotografía representativa del tema que trata el trabajo. Debe ser enviada como archivo electrónico tif o jpg, con no menos de 300 ppp.

Se recomienda a los autores revisar la lista de control que figura en la versión on line, para verificar que se haya cumplido con todos los requisitos señalados: <http://revista.fca.uncu.edu.ar>

GENÉTICA Y MEJORAMIENTO VEGETAL

Development and characterization of SSR markers for *Trichloris crinita* using sequence data from related grass species. *Desarrollo y caracterización de marcadores moleculares SSR para *Trichloris crinita* usando secuencias de gramíneas filogenéticamente cercanas.* P. Carolina Kozub, K. Barboza, J. B. Cavagnaro, P. F. Cavagnaro. p. 1.

ECOFISIOLOGÍA Y MANEJO DE CULTIVOS

Assessment of soil properties, plant yield and composition, after different type and applications mode of organic amendment in a vineyard of Mendoza, Argentina. *Evaluación de propiedades edáficas químicas, biológicas, rendimiento y composición vegetal en un viñedo de Mendoza (Argentina) con diferentes tipos y modos de aplicación de abono orgánico.* L. E. Martínez, R. C. Vallone, P. N. Piccoli, S. E. Ratto. p. 17.

Influencia de la vid (*Vitis vinifera* L.) sobre cultivos de cobertura: un modelo biomatemático de la transición de amensalismo a comensalismo. *Influence of grapevine (*Vitis vinifera* L.) on cover crops: a biomathematical model of the transition of amensalism to commensalism.* C. R. Bageta, M. Alberto, C. Sartor, A. Ceconato, A. Bevaqua, M. Tirador, M. Garriga, V. Nodaro, A. Quiroga, E. Uliarte (*ex aequo*). p. 33.

Evaluación de crecimiento, rendimiento y calorimetría de biomasa de *Miscanthus x giganteus* (Poaceae) establecido en el centro-sur de Chile. *Evaluation of growth, yield and calorific value of *Miscanthus x giganteus* (Poaceae) biomass established in south central of Chile.* F. Muñoz, J. Cancino, R. Rodríguez, R. Olave. p. 47.

Efecto del momento de cosecha sobre la calidad hortícola de tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) conservados a campo y en cámara frigorífica. *Harvest time effect on horticultural quality of topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) kept in the soil or in cold storage.* L. Iburguen, C. Reboza, M. Alberto. p. 61.

Physiological and production responses of olive (*Olea europaea* L.) cv. Frantoio under regulated deficit irrigation on a semiarid mediterranean weather condition (Cholqui, Maipo Valley, Chile). *Respuestas fisiológicas y productivas en olivo (*Olea europaea* L.) cv. Frantoio bajo riego deficitario controlado en condiciones de un clima mediterráneo semiárido (Cholqui, Valle del Maipo, Chile).* C. Kremer, L. Reyes, T. Fichet, V. García de Cortázar, J. Haberland. p. 73.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Traffic of harvester combines: effect on maize yields (*Zea Mays* L.) and soil compaction under direct sowing system. *Tráfico de cosechadoras: efecto sobre los rendimientos de maíz (*Zea Mays* L.) y compactación del suelo bajo el sistema de siembra directa.* G. F. Botta, A. Tolón-Becerra, F. Bienvenido, E. R. D. Rivero, D. A. Laureda, E. E. Contessotto, R. A. Fonterosa, D. W. Agnes. p. 85.

Análisis de la eficiencia física, económica y social del agua en espárrago (*Asparagus officinalis* L.) y uva (*Vitis vinifera*) de mesa del DR-037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, Mexico 2014. *Analysis of physical, economic and social water efficiency in asparagus (*Asparagus officinalis* L.) and grape (*Vitis vinifera*) fruit from DR-037 of Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, Mexico 2014.* J. L. Ríos Flores, B. E. Ríos Arredondo, J. E. Cantú Brito, H. E. Ríos Arredondo, S. Armendáriz Erives, J. A. Chávez Rivero, C. Navarrete Molina, R. Castro Franco. p. 101.

Capacity of two vegetative species of heavy metal accumulation. *Capacidad de dos especies vegetativas en la acumulación de metales pesados.* J. Alcalá Jáuregui, J. C. Rodríguez Ortíz, A. Hernández Montoya, M. F. Filippini, E. Martínez Carretero, P. E. Díaz Flores. p. 123.

ECONOMÍA Y POLÍTICA AGRARIA

Development programs for female farmers: identifying clusters for the case of Chile's "Education and training program for rural women". *Programas de desarrollo dirigidos a agricultoras: identificando clústeres para el caso del programa "Formación y capacitación para mujeres campesinas" de Chile.* S. Boza, T. Muñoz, M. Cortés, M. Rico, J. Muñoz. p. 141.

A comparison between tourists' profiles in two Italian wine routes. *Una comparación entre los perfiles de los turistas de dos rutas del vino italiano.* L. Galletto. p. 157.

Conocimiento científico y políticas de conservación: interrelaciones en las razas ganaderas autóctonas españolas en peligro de extinción. *Scientific knowledge and conservation policies: interrelationships in the Spanish livestock autochthonous endangered breeds.* J. Perea, C. Barba, M. Luque, A. González, E. Angón, A. García. p. 171.

The falling production of Mexican cacao analyzed through the lens of Mincerian earnings function in the context of social capital of smallholders. *La caída de la producción del cacao mexicano analizada a través de la función Minceriana en el contexto del capital social de pequeños productores.* T. Hes, S. Mintah, H. Sulaiman, J. S. Banda Arrieta, J. Ramírez Esquivel, T. Martínez Saldaña, J. M. Aguirre López. p. 185.

Influencia de factores contextuales en la adopción de modelos de agricultura insustentables. La incorporación del invernáculo en agricultores platenses. *Influence of contextual factors in the adoption of models of unsustainable agriculture. The adoption of the greenhouse in farmers in the horticultural belt of La Plata.* M. L. Blandi, R. M. Rigotto, S. J. Sarandón. p. 203

PRODUCCIÓN Y SANIDAD ANIMAL

Change of collembolan (Hexapoda: Collembola) community structure related to anthropic soil disturbance. *Cambio de la estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en relación con el disturbio antrópico de los suelos.* R. V. Sandler, L. B. Falco, C. A. Di Ciocco, R. Castro Huerta, C. E. Coviella. p. 217.

TECNOLOGÍAS AGROINDUSTRIALES

Análisis de datos sensoriales de tomate triturado con lógica difusa y técnicas multivariadas. *Sensory data analysis crushed tomatoes with fuzzy logic and multivariate techniques.* M. I. Césari, N. B. Ventreña, A. Gámbaro. p. 233.

Production of cured, voided meat sausage with apple pomade added (*Malus domestica*) and its impact in nutritional and sensorial values. *Elaboración de embutido cárnico curado sellado al vacío con pomasa de manzana (*Malus domestica*) y su valoración nutricional y sensorial.* N. Loyola, C. Acuña, D. Fuentes, M. Arriola. p. 249.

Analysis of some physical, chemical and microbiological aspects of honey samples produced and consumed in Turkey. *Análisis de algunos aspectos físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de miel producidas y consumidas en Turquía.* S. Bakirdere, T. Yaroglu, N. Tirik, M. Demiroz, A. Karaca. p. 263.

PERSPECTIVAS

Proposal for severe injury reduction targets in Spain by territory and sector. The importance for rural areas of traffic accident. *Propuesta de objetivos territoriales y sectoriales de reducción de heridos graves. Importancia de los accidentes de tráfico en áreas rurales.* M. D. Ramírez Román, X. Bolívar Lastra-Bravo, A. Tolón-Becerra, F. Bienvenido-Bárcena, I. Flores-Parra. p. 273.

REVISIÓN

Sustainable use of rangelands of the Mendoza plain (Argentina). *Uso sustentable de los pastizales de la llanura de Mendoza (Argentina).* J. C. Guevara, O. R. Estevez. p. 295.

Normas para la presentación de artículos. p. 309.