



Universitat de Lleida

## **Efectos de los sistemas de labranza de los cereales sobre los organismos perjudiciales y benéficos del suelo en el sudeste bonaerense (Argentina)**

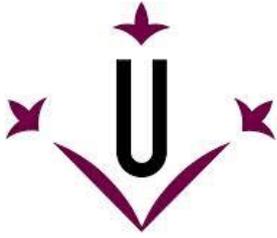
Pablo L. Manetti

<http://hdl.handle.net/10803/371728>



*Efectos de los sistemas de labranza de los cereales sobre los organismos perjudiciales y benéficos del suelo en el sudeste bonaerense (Argentina)* està subjecte a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 No adaptada de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/)

(c) 2015, Pablo L. Manetti



**UNIVERSITAT DE LLEIDA  
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA AGRÀRIA**

**EFFECTOS DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA DE  
LOS CEREALES SOBRE LOS ORGANISMOS  
PERJUDICIALES Y BENEFICOS DEL SUELO EN  
EL SUDESTE BONAERENSE (ARGENTINA)**

**TESIS DOCTORAL**

**PABLO L. MANETTI**

**Lleida, 2015**

UNIVERSITAT DE LLEIDA  
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA  
DEPARTAMENT DE PRODUCCIÓ VEGETAL i CIENCIA FORESTAL

**EFFECTOS DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA DE LOS  
CEREALES SOBRE LOS ORGANISMOS PERJUDICIALES Y  
BENEFICOS DEL SUELO EN EL SUDESTE BONAERENSE  
(ARGENTINA)**

Memoria de tesis presentada por Pablo Manetti  
para optar al grado de Dr. Ingeniero  
Agrónomo por la Universitat de Lleida.

Dirigida por el Dr. Xavier Pons i Domènech  
profesor del “Departament de Producció  
Vegetal i Ciència Forestal”, E.T.S.  
d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida.

El Director de Tesis Xavier Pons i Domènech

Lleida, 15 de Diciembre 2015

***A Mara, Camila y Juan***

## **AGRADECIMIENTOS**

A Alicia López por permitirme crecer con sus consejos, su lectura crítica de la tesis y apoyo incondicional en mi desarrollo como Investigador.

A mis compañeros y amigos del grupo de Investigación, por hacer ameno y llevadero mi trabajo. Gracias: Natalia Clemente, Ariel Faberi y Carla Salvio.

A Rocío Diurno, Fernanda Darchivio, Natalia Clemente y María Emila Pontaroli por la toma de datos y su agradable y simpática compañía, hoy todas ellas Profesionales; y a Miguel Sorensen por el compromiso en su labor.

A Antonio Riero (Chiquito), compañero incondicional en los muestreos, ponderando su predisposición y alegría en el trabajo y sobre todo por ser muy BUENA persona.

A mis compañeros de Cátedra por el apoyo para concluir esta etapa. Gracias Juan Eyherabide, María Ines Leaden, Francisco Bedmar, Jorge Mantecon y Luis Cabrelli.

A Alberto Alvarez Castillo por el liderazgo de Grupo hasta su retiro y su amistad, que junto a J.J. Eyherabide me alentaron a que cumpliera esta etapa académica.

A todos los integrantes de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida.

A todo el personal de la Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata -Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) que me apoyaron para completar esta etapa.

A Xavier Pons por su esmerada Dirección, generosa predisposición, apoyo incondicional y inolvidable amistad para poder completar esta Tesis.

A mi querida Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce por formarme y permitirme crecer como persona y docente /investigador y cumplir parte de mis sueños.

## **ADENDA**

En el año 2001 fui recibido por el Dr. Xavier Pons de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de la Universidad de Lleida, para comenzar a tomar los cursos de Doctorado.

Durante mi estancia se discutió la posibilidad de realizar mi trabajo experimental en la Argentina, partiendo de mi inserción en la investigación con el Grupo de zoología de Balcarce.

Se planteó con el Dr. Pons los posibles temas de la tesis Doctoral y se concluyó que debido a la importancia que estaba adquiriendo la Siembra Directa en Argentina y la poca información disponible, realizar estudios sobre la misma.

Luego de conversaciones con demás integrantes del grupo de entomología de la ETSEA y con la correspondiente búsqueda bibliográfica realizada en la excelente biblioteca de la Escuela, se realizó el anteproyecto de la Tesis Doctoral, sobre el tema de siembra directa teniendo en cuenta las diferencias en la fauna perjudicial y benéfica al comparar dos sistemas contrastantes de labranza.

En una posterior visita en la escuela (año 2003) se discutieron los datos hasta allí obtenidos y la prosecución en la tomas de datos de los años que faltaban completar.

Por tanto esta tesis se ha desarrollado en el seno de la facultad de Ciencia Agrarias de Balcarce pero bajo la dirección y los auspicios del grupo de Entomología de la Universidad de Lleida.

Quiero resaltar el gran aporte realizado por el Dr. Pons y demás integrantes de grupo de entomología en el desarrollo de mi tesis Doctoral y de la experiencia adquirida en mi estancia en la Escuela durante el tiempo que allí estuve.

## ÍNDICE

<b>Contenido</b>	<b>Pag.</b>
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ADENDA.....	iv
ÍNDICE.....	v
RESUMEN.....	viii
RESUM.....	ix
ABSTRACT.....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Crecimiento de la población mundial y desarrollo agrícola.....	2
1.2.1. Desarrollo de la agricultura argentina.....	3
1.2.2. Perspectivas actuales.....	4
1.3. Siembra Directa.....	7
1.3.1. Antecedentes históricos.....	7
1.3.2. Ventajas y desventajas.....	11
1.3.3. Rastrojo.....	14
1.3.4. Materia orgánica.....	16
1.3.5. Efectos sobre los organismos.....	18
1.3.5.1. Mesofauna.....	19
1.3.5.2. Macrofauna.....	20
<b>2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	25
2.1. HIPÓTESIS.....	25
2.2. Objetivos.....	26
OBJETIVO GENERAL.....	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
<b>3. ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>27</b>
3. ÁREA DE ESTUDIO (Extractado Anexo I y II).....	28
<b>4. CAPÍTULO I.....</b>	<b>32</b>
4. CAPÍTULO I: TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO BAJO LABRANZA CONVENCIONAL Y SIEMBRA DIRECTA....	33
Resumen.....	33
Introducción.....	34
Materiales y métodos.....	35
Resultados y discusión.....	36
Conclusión.....	37
Bibliografía.....	40
<b>5. CAPÍTULO II.....</b>	<b>43</b>
5. CAPÍTULO II: TILLAGE SYSTEM DOES NOT AFFECT SOIL MACROFAUNA IN SOUTHEASTERN BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA.....	44
Abstract.....	44
Resumen.....	44

Introduction.....	45
Material and methods.....	47
Study area and systems management.....	47
Sampling and fauna analysis.....	48
Results.....	49
Discussion.....	51
Acknowledgements.....	54
References.....	54
<b>6. CAPÍTULO III.....</b>	<b>60</b>
6. CAPÍTULO III: MACROFAUNA ACTIVITY IN CONTRASTING SYSTEMS IN BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA...	61
Abstract.....	61
Introduction.....	61
Materials and methods.....	63
Study Area and Systems Management.....	63
Sampling and Fauna Analysis.....	64
Results.....	66
Discussion.....	67
Acknowledgments.....	73
References.....	73
<b>7. CAPÍTULO IV.....</b>	<b>82</b>
7. CAPÍTULO IV: LOS CARABIDOS EN SISTEMAS DE LABRANZA CONTRASTANTES: DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA.	83
Resumen.....	83
Introducción.....	84
Materiales y métodos.....	85
Resultados y discusión.....	86
Conclusión.....	90
Bibliografía.....	91
<b>8. CAPÍTULO V.....</b>	<b>94</b>
8. CAPÍTULO V: HERBÍBOROS BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA: DIRECTA Y CONVENCIONAL.....	95
Introducción.....	95
Objetivo.....	105
Materiales y Métodos.....	105
Resultados y Discusión.....	107
Conclusiones.....	111
<b>9. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>112</b>
9. DISCUSIÓN GENERAL.....	113
<b>10. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>122</b>
10. CONCLUSIONES GENERALES.....	123
<b>11. BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....</b>	<b>124</b>
11. BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	125

<b>ANEXO I.....</b>	145
<b>ANEXO I: CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZADOS....</b>	146
<b>I.1. DESCRIPCIÓN PAISAJE DE LA ZONA (Adaptado del Atlas digital del partido de Balcarce).....</b>	146
I.1.1. Sierras.....	147
I.1.2. Franja Eólica Periserrana.....	147
I.1.3. Planicie Fluvioeólica.....	148
<b>I.2.1. Zona de Estudio.....</b>	148
I.2.1.1. Descripción del suelo típico de la Serie Mar del Plata.....	149
I.2.1.2 Datos analíticos del perfil típico de la Serie Mar del Plata (INTA, 1979; descripción actualizada según SSS, 1999)...	150
I.2.2.1. Descripción del suelo típico de la Serie Balcarce.....	151
I.2.2.2 Datos analíticos del perfil típico de la Serie Mar del Plata (INTA, 1979; descripción actualizada según SSS, 1999)..	152
<b>I.3. Bibliografía.....</b>	153
<b>ANEXO II.....</b>	154
<b>ANEXO II: CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA.....</b>	155
<b>II.1. Caracterización agroclimática del Partido de Balcarce.....</b>	155
II.1.1. Temperatura.....	155
II.1.2. Precipitaciones.....	157
II.1.3. ET0 (Evapotranspiración de referencia Penman - Monteith)..	160
<b>II.2. Bibliografía.....</b>	164

## RESUMEN

En Argentina se utilizan dos sistemas de labranza en cereales, labranza convencional (LC) y la siembra directa (SD) siendo esta última adoptada mayoritariamente por los agricultores como un sistema conservacionista. El objetivo de esta Tesis fue estudiar las poblaciones de organismos perjudiciales y benéficos durante el desarrollo de los cultivos de trigo y maíz en SD y LC en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. El estudio fue realizado sobre 46 lotes comerciales durante los ciclos agrícolas 2002/03, 2003/04 y 2004/05, los lotes bajo SD llevaban 5 años bajo esta modalidad. En cada lote se tomaron en julio-agosto y en octubre-noviembre muestras de suelo y se colocaron trampas pitfall para determinar el número de individuos de la macrofauna y mesofauna y la densidad activa de macrofauna y de los carábidos. No se observaron diferencias en la composición taxonómica y en la abundancia relativa de la macrofauna entre LC y SD, presentando efectos leves sobre la macrofauna y los Enchytraeidae. Se observó una mayor densidad activa en SD para ciclo 1 en trigo y ciclos 1 y 3 de maíz. La densidad activa de los lepidópteros y los himenópteros fue mayor en LC en algunos ciclos de maíz y trigo. Diplopoda y crustáceos tenían mayor densidad activa en SD que LC. En términos generales, la densidad activa total fue consistentemente mayor en SD, pero hubo diferencias dentro de grupos taxonómicos. La densidad activa total de los carábidos no estuvo relacionada a los sistemas de labranza mostrando diferentes respuestas. La riqueza (S) fue mayor en LC respecto a SD en un ciclo de trigo y en un ciclo de maíz. Se destacaron 3 especies de tamaño corporal grande, *Calosoma* sp., *Scarites anthracinus* y *Trirammatus striatulus*, representaron entre el 46 y el 69% del total de individuos capturados en LC y entre el 66 y el 78% en SD. *S. anthracinus* fue la especie de mayor densidad activa en ambos cultivos y no fue afectada por el sistema de labranza. Los cultivos que se desarrollaron bajo SD no presentaron mayor ataque de plagas, aunque el rastreo en superficie y el no laboreo permitió el desarrollo de otros organismos en el sistema como las babosas y los bichos bolita que pueden producir daño económico.

## RESUM

A l'Argentina es fan servir dos sistemes de conreu en cereals, el conreu convencional (LC) i la sembra directa (SD) essent aquesta adoptada majoritàriament pels agricultors com un sistema conservacionista. L'objectiu d'aquesta Tesi fou estudiar les poblacions d'organismes perjudicials i beneficiosos durant el desenvolupament dels cultius de blat i panís en SD i LC en el sud-est de la província de Buenos Aires. L'estudi es va fer en 46 camps comercials durant les campanyes 2002/03, 2003/04 i 2004/05. Els camps amb SD portaven 5 anys sota aquesta modalitat. En cada camp es van prendre, al juliol-agost i octubre-novembre, mostres de sòl i es van disposar trapes pitfall per a determinar el nombre d'individus de la macrofauna y de la mesofauna i la densitat activa de macrofauna i de caràbids. No es van observar diferències en la composició taxonòmica i en l'abundància relativa de la macrofauna entre LC i SD, havent-hi efectes lleus sobre la macrofauna i els Enchytraeidae. Es va observar una major densitat activa a SD per la primera campanya de blat i la primera i la tercera de panís. La densitat activa dels lepidòpters i himenòpters va ser major en LC en algunes campanyes de blat i panís. Diplopoda i crustacis van tenir major densitat activa en SD que a LC. En termes generals, la densitat activa total va ser consistentment major a SD, però hi va haver diferències dins de grups taxonòmics. La densitat activa total dels caràbids no va estar relacionada amb els sistemes de conreu, havent-hi diferents respostes. La riquesa (S) va ser major a LC que a SD en una campanya de blat i de panís. Van sobresortir tres espècies de mida corporal gran, *Calosoma* sp., *Scarites anthracinus* i *Trirammatus striatulus*, que van representar entre el 46 i el 69% del total d'individus capturats a LC i entre el 66 i el 78% a SD. *S. anthracinus* fou l'espècie amb major densitat activa en els dos cultius i no va estar afectada pel sistema de conreu. Els cultius que es van desenvolupar sota SD no van presentar major atac de plagues, tot i que el rostoll en superfície i el no conreu va permetre el desenvolupament d'altres organismes com llimacs i els porquets de Sant Antoni que poden produir dany econòmic.

## ABSTRACT

In Argentina, two tillage systems are used, conventional tillage (LC) and no-till (SD). The last is mainly adopted by farmers as a conservation system. The objective of the Thesis was to determine the damaging and beneficial organisms in SD and LC wheat and corn crops in the south-east of the Buenos Aires province. The study was carried out in 46 commercial plots during the 2002/03, 2003/04 and 2004/05 growing seasons. The SD plots were managed in that way since five years. In each plot soil samples were taken and pitfall traps displayed, in July-August and October-November, in order to determine the number of individuals of the macrofauna and mesofauna and the activity-density of the macrofauna and ground beetles. No differences in the taxonomic composition and in the relative abundance were observed between LC and SD, but there were light effects on the macrofauna and Enchytraeidae. A higher activity-density was observed in SD than in LC during the first growing season of wheat and the first and the third growing seasons of corn. The activity-density of lepidopterans and himenopterans was higher in LC than in SD in some growing seasons of wheat and corn. Diplopoda and crustaceans showed a higher activity-density in SD than in LC. Generally, the total activity-density was consistently higher in SD, but there were differences within taxonomic groups. The total activity-density of ground beetles was not related with the tillage systems, and different responses were found. The richness (S) was higher in LC than in SD in one growing season of wheat and corn. Three large size species were prevalent, *Calosoma* sp., *Scarites anthracinus* and *Trirammatus striatulus*, represented between 46% and 69% of the total individuals captured in LC and between 66% and 78% in SD. *S. anthracinus* was the species with the highest activity-density in the two crops and it was not affected by the tilling system. The crops developed under SD did not suffer a higher pest attack than those developed under LC, although the surface stubble and the no tillage allow the development of other organisms like slugs and pillbugs which can produce economic damages.

# **1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

## **1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

### **1.1. Crecimiento de la población mundial y desarrollo agrícola**

Hay consenso general de que la agricultura tiene la capacidad de cubrir las necesidades de alimentos del mundo, pero se pone seriamente en duda su sostenibilidad, si antes no se modifica la forma de producción, tratando de disminuir su impacto sobre el medio ambiente (Pretty *et al.*, 2010).

El crecimiento poblacional indica que para el año 2025 la población será de 8,1 billones y alcanzará para el 2050 9,6 billones de personas (UN, 2014). El aumento se produce fundamentalmente en los países subdesarrollados y en la actualidad de los 82 millones de personas que se incorporan por año el 54% y 33% corresponden a Asia y África respectivamente. Se estima que para 2050 el 80% estará dado por África y 12% Asia previéndose que en 2028 India será el país más poblado.

El crecimiento poblacional esperado se producirá a una tasa cada vez menor si fuera acompañado con una mayor producción de alimentos, estimándose que podría incrementarse en un 70% para alimentar a toda la población en el 2050.

Aunque el sector agrícola produce alimentos suficientes para todos, hay una buena parte de la población en condiciones de hambre crónica. La falta de capacidad de adquirir los alimentos es la principal causa del hambre y por ende de la desnutrición.

Otro aspecto relacionado con la producción agrícola es la disminución del área agrícola debido a la necesidad de establecer nuevas zonas urbanas, de manera que a medida que transcurre el tiempo hay una cantidad mayor de personas que viven en los centros urbanos en detrimento de la zona rural donde se espera que para 2050 sea menor la cantidad de habitantes (UN, 2014).

Aunque la agricultura puede alimentar al mundo se debe tener presente que no se puede lograr solo con la intensificación de la producción sino que también debe incorporarse en esta ecuación la sustentabilidad. Las autoridades gubernamentales son las que tienen que comprometerse a otorgar subsidios a la agricultura destinados a minimizar los impactos negativos de la intensificación agrícola. Esta ayuda debería comenzar en los países como la comunidad Europea, EEUU y Japón redireccionando los subsidios agrícolas hacia el desarrollo de prácticas sostenibles (Tilman *et al.*, 2002).

De acuerdo a las proyecciones de la FAO en 2050 el 80% de los alimentos adicionales requeridos para atender la demanda tendrán que provenir de tierras que ya

están siendo cultivadas y por ende debería aumentarse la producción por superficie. Para el logro de este objetivo será necesario contar con mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales con el mínimo impacto en el medio ambiente (Hoobs *et al.*, 2008).

Solamente África subsahariana y América del Sur se encuentran en condiciones de aumentar sustancialmente la superficie destinada a la agricultura, las demás áreas agrícolas deben intensificar la producción, sin olvidar el impacto que pueda tener sobre el cambio climático y el crecimiento continuo de la competencia por la tierra, agua y energía (FAO, 2011). A este punto, debiera plantearse un nuevo paradigma que es la intensificación sustentable de la producción de los cultivos. Para el logro de este objetivo se deben conservar los recursos, tener en cuenta el capital natural o lo que no se encuentra cultivado y los servicios ecosistémicos.

Entre otras cosas la intensificación sustentable debería incluir semilla sana y adecuada a la zona, manejo integrado de plagas, malezas y enfermedades, manejo de la nutrición, uso eficiente del agua e integración de cultivos con pasturas, árboles y ganado. Además ofrecer a los productores y a la sociedad beneficios socioeconómicos y ambientales relacionados con la productividad, fomentar en los productores la experimentación siendo ésta una metodología que permitirá superar la mentalidad tradicional de producción, lográndose una rápida adopción (Hobbs *et al.*, 2008). Debemos tener en cuenta que existen otras demandas de los productos agrícolas además del alimento humano o animal como son los biocombustibles sustituto de los combustibles fósiles.

Del 80% del crecimiento esperado de los cultivos, 70% corresponderá al aumento de rendimiento, 21% al aumento del área sembrada y el 8% a la intensificación (Bruinsma, 2009), constituyendo estos datos un promedio mundial con zonas muy dispares en cuanto al crecimiento, considerando a África Subsahariana y Sudamérica con mayor potencial de crecimiento.

### **1.2.1. Desarrollo de la agricultura argentina**

El crecimiento de la economía agropecuaria Argentina hasta 1870 estuvo basado fundamentalmente en exportaciones al mundo de cuero, tasajo, sebo y lanas. La producción fue creciendo a medida que transcurrían los años multiplicándose las exportaciones 45,2 veces entre 1870 y 1913 mientras que, el resto de la región lo hizo solamente 7,3 veces. En 1913 Argentina se transformó en el primer exportador de

América latina con el 32,1% teniendo solo 9,5% de los habitantes de la región (Barsky y Gelman, 2001).

En 1880 comienzan a consolidarse las bases económicas y sociales de un proceso agrícola expansivo que colocaría al país en el primer nivel internacional. La superficie sembrada con trigo, maíz, lino, avena y cebada creció 61,5 veces en 34 años siendo la región pampeana el “motor” responsable de esta situación. Ya hacia 1913 era el segundo exportador mundial de cereales luego de Rusia. En el caso del trigo fue el primer exportador en 1907 y en el quinquenio 1905/9 el primer exportador de maíz.

A partir de 1914 los conflictos bélicos externos al país (guerras mundiales) alteraron el ritmo del comercio internacional de los productos agropecuarios interfiriendo además en el flujo de las inversiones y de la retracción sostenible de la inmigración europea de mano de obra. En esta época, además de las contingencias externas se afrontaron severas sequías y una gran invasión hacia junio de 1914 de langostas que alcanzó tal magnitud que se extendió en una superficie equivalente al 43% de todo el territorio argentino. En la primera guerra disminuyeron las exportaciones en un 27%.

A partir de 1920 la agricultura empieza a recuperarse por necesidades de los países europeos de la posguerra que requerían grandes cantidades de alimentos, ya que sus tierras fueron arrasadas por el conflicto bélico. El crecimiento fue continuo y a una tasa de 3,2% razón por la que se consideró como el “granero del mundo”.

A partir de la década del 30 debido a la gran recesión económica mundial (Gran depresión) se produjo entre otros aspectos una contracción importante de la agricultura argentina produciéndose un periodo de estancamiento fundamentalmente en la región pampeana, mientras que las otras regiones tuvieron una expansión de los cultivos industriales y de consumo interno.

Hacia fines de la década del 30 el modelo tecnológico adoptado en la región pampeana era similar a las de otros países de agricultura extensiva, pero a partir de ese periodo se produjo una brecha tecnológica considerable. Las causas fueron varias: decadencia del proceso de mecanización, estancamiento en el proceso de mejoramiento genético y mantenimiento o retroceso del sistema estatal de generación y difusión de tecnología. Las diferencias tecnológicas se observaron en distintos productos, por ejemplo en el maíz en el 60 la brecha era del 45% con respecto a EEUU, algo similar

ocurrió con el trigo ya que en el 70 la diferencia era del 40% (Reca, 2006). Los rendimientos a través de los años han seguido creciendo y en la actualidad las diferencias se han reducido a 22 y 5% en maíz y trigo respectivamente (Reca, 2006).

A nivel mundial la inflexión histórica de la producción de granos estuvo marcada fundamentalmente por la expansión de la superficie destinada a los cultivos y a los aumentos observados durante las décadas del 50 y 60 que estuvieron caracterizados por una fuerte intensificación agrícola, uso creciente de insumos y prácticas agronómicas más perfeccionadas. En este sentido se debe considerar que la Argentina estuvo desfasada tecnológicamente de 20 a 30 años (Viglizzo *et al.*, 2002).

### **1.2.2. Perspectivas actuales**

La agricultura argentina en general y la pampeana en particular, se han expandido en los últimos 20 años dentro de una matriz tecnológica enmarcada por cultivos transgénicos, siembra directa, uso creciente de fertilizantes y plaguicidas. El cultivo de soja lideró la incorporación de tecnología a través de la expansión de variedades transgénicas (resistentes a glifosato) y del uso exponencial del glifosato como herbicida básico.

La expansión de la agricultura se produjo esencialmente por la incorporación de nuevas áreas en todo el país, sobre todo en tierras destinadas a la ganadería con pastizales o en casos extremos con la destrucción de los bosques nativos. Se puede considerar que la incorporación de nuevas tierras agrícolas tiene un frente de avance hacia el noroeste del país (Viglizzo *et al.*, 2010b).

Los patrones de crecimiento en superficie son relativamente asimétricos y heterogéneos. Los cultivos de invierno dominan en el sur, los de verano en el norte y en la parte central se produce una zona de transición. Sin embargo, en la actualidad ha ocurrido una veranización de la agricultura dominada por el cultivo de soja (Carreño y Viglizzo, 2007). Esta tendencia continúa en la actualidad, entre los años 2001 y 2011 la superficie agrícola aumentó un 35%, con la característica que la superficie destinada a cultivos de invierno disminuyó un 66% y un aumento de los cultivos de verano del 62% (Volante *et al.*, 2015).

Todos los cambios se producen en mayor o menor medida en todo el territorio y en la región pampeana ocurrió fundamentalmente con el desplazamiento de la ganadería y su correspondiente avance sobre los pastizales. En países vecinos como Uruguay se

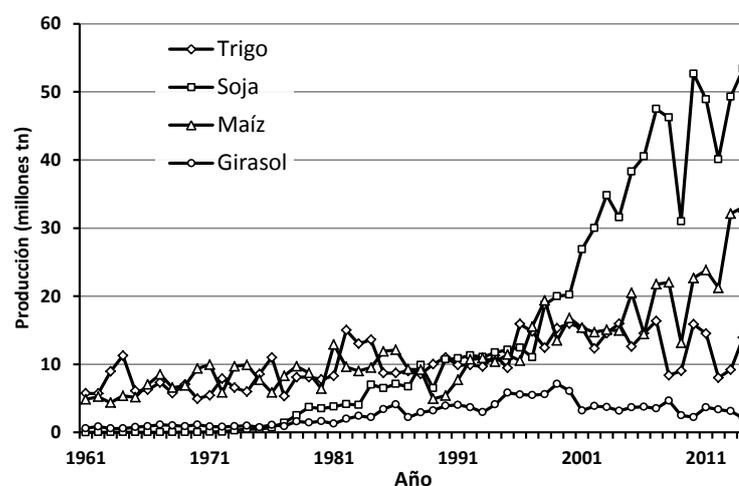
han producido además avances por parte de las plantaciones forestales (Parruelo *et al.*, 2006). Si bien el direccionamiento hacia nuevas tierras fue el factor que permitió el aumento de la producción no menos importante fue la incorporación de tecnología y de insumos extra al sistema (Viglizzo *et al.*, 2001).

La incorporación de nueva tecnología considerada como un insumo dependiente además de mejorar los rendimientos ocasiona un impacto en el medio ambiente debido a que los ecosistemas se encuentran interconectados regionalmente. Como resultado, lo que suceda en un ecosistema repercute en otro. Por ende, muchos efectos ambientales de la actividad agropecuaria son poco significativos a nivel de predio pero sumados pueden tener repercusiones en otros ecosistemas que resulten desapercibidos por la complejidad de las diferentes escalas ya sean espaciales o temporales (Oesterheld, 2008)

La región pampeana históricamente es la principal zona productora del país, alcanzando la provincia de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y la Pampa más del 90% de la producción de trigo, 80% de la producción de soja, 89,3% de girasol y 71,1% de maíz (SIIA, 2015).

De estos cultivos la soja lidera la incorporación de tecnología a través de la expansión de variedades transgénicas (resistentes a glifosato) y del uso exponencial del glifosato como herbicida básico.

En la Figura 1.1 se observa la evolución de la producción de los principales cultivos en Argentina.



**Figura 1.1. Evolución de la producción de los principales productos agrícolas de Argentina (1960-2014) Elaboración propia (FAOSTAT 2014; SIIA 2015).**

En la actualidad el principal cultivo que se produce en Argentina es la soja, continúa en importancia el maíz y está perdiendo importancia histórica el cultivo de trigo.

En el ciclo agrícola 2013-14 la producción nacional de los principales cultivos extensivos alcanzó 102 millones de toneladas con 32 millones de hectáreas sembradas, ocupando la provincia de Buenos Aires un importante rol. Participando en un 36,5 y 34,9% de la superficie y producción total respectivamente (SIIA, 2015).

El partido de Balcarce junto con Gral. Pueyrredón, Gral. Alvarado, Lobería y Tandil se encuentran ubicados en la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires. Esta zona posee una superficie promedio destinada a la agricultura de alrededor de 66,3% y de 22,2% para ganadería. Los partidos antes mencionados aportan el 12,9% de girasol, 8,2% de soja, 7,6% de maíz y 6,6% de trigo respectivamente sobre el total de la superficie cultivada en la provincia de Buenos Aires (SIIA, 2015).

Según Viglizzo *et al.* (2010a) la agricultura en los últimos 50 años produjo una transformación significativa en el medio rural en la estructura y en su funcionalidad. En la mitad de este periodo se produjo mucha pérdida de la biomasa de carbono y destrucción del hábitat por la deforestación, sin embargo dos aspectos resultan positivos como son el menor uso de plaguicidas agresivos y de prácticas de no laboreo (siembra directa).

### **1.3. Siembra Directa**

#### **1.3.1. Antecedentes históricos**

La siembra directa y labranza reducida han sido utilizadas desde la antigüedad por algunas culturas indígenas. Esto fue debido a que la labranza realizada a diferentes profundidades requiere más energía y poder en comparación con la labranza reducida que generalmente era posible realizarla con la mano. Los antiguos egipcios y los incas en los Andes de América del Sur efectuaban con un palo un agujero en el suelo y ponían las semillas con la mano en la tierra sin labrear. Incluso en la actualidad, en algunas partes del mundo se colocan las semillas en un agujero después de eliminar el bosque quemándolo (Triplett y Dick, 2008). Sin embargo, con el uso de los animales y desarrollo de las máquinas, la labranza rápidamente se convirtió en sinónimo de la agricultura.

La labranza convencional ayudó enormemente a producir una cantidad mayor de alimentos realizando una cama adecuada de siembra que facilitaba la siembra y controlaba la competencia por las malezas. En muchas partes del norte y del sur de América, los colonos europeos que emigraron al Nuevo Mundo no se preocuparon por la sostenibilidad de sus campos, ya que las nuevas tierras eran muy apreciadas como consecuencia de su mayor productividad y a que sus suelos no estaban "gastados" por los cultivos (Tripett y Dick, 2008).

La intensificación de la agricultura fuertemente tecnificada ocasionó a los agroecosistemas un número considerable de problemas muchos de los cuales están agravándose a medida que transcurre el tiempo, afectando la calidad de los recursos esenciales tales como el suelo, el agua y la biodiversidad. Se debe agregar a lo citado con anterioridad la huella ambiental y el cambio climático, siendo la agricultura la responsable del 30% de la emisión de gas de invernadero (IPCC, 2007). Luego de que ocurrieron ciertos eventos en la historia de la agricultura como la voladura de los campos en EEUU o los problemas serios de erosión en Australia, comenzó a repensarse el sistema de producción y fue entonces cuando se dieron los primeros pasos en los sistemas de labranza reducida. Algunos autores se preguntaban en aquél momento si arar o trabajar la tierra era beneficioso.

Surgieron así los sistemas de labranza conservacionistas asociados a una menor intensidad y agresividad de los laboreos y a la presencia de los rastros en la superficie. El caso más extremo de labranza conservacionista es la siembra directa. Según la FAO la siembra directa es el componente central en lo que hoy día se denomina agricultura de conservación.

Uno de los principales motivos del desarrollo de la labranza conservacionista fue solucionar los problemas de erosión eólica e hídrica, si bien se observó más tarde que la agricultura intensiva basada en el laboreo generalmente tiene un efecto negativo en los recursos naturales esenciales como el suelo, el agua, la biodiversidad y el aporte de los servicios ecosistémicos (Friedrich *et al.*, 2012; Villarino *et al.*, 2014)

El término siembra directa (SD) o cultivos sin labranza como algunos otros nombres existentes que significan lo mismo, es importante el proceso y no el nombre en sí (Barker y Saxton, 2006). Estos autores presentan 19 términos desde siembra en surcos hasta siembra en cobertura involucrando procesos similares entre sí.

La SD es una práctica de cultivar la tierra sin ararla que presenta algunos aspectos que hay que considerar, como ausencia de labranzas y la presencia de cobertura permanente en el suelo mediante un cultivo y/o rastrojo y la rotación de cultivos. Algunos autores indican que el valor mínimo de residuo debería ser 30%.

Este concepto es muy importante en la agricultura de hoy, dado que la especie humana no querrá poner en peligro la capacidad de producir alimentos para las futuras generaciones a expensas de dañar los recursos naturales utilizados para alimentar la población de hoy.

En muchos países el desarrollo de esta tecnología estuvo estrechamente relacionado con las asociaciones de productores, este fue el caso de Argentina donde Aapresid (Asociación Argentina de productores en siembra directa) fundada como una ONG en el año 1989 impulsó y desarrolló esta tecnología.

Según Aapresid (2015) al concepto descrito anteriormente debemos agregarle, que debe realizarse bajo un conjunto de Buenas Prácticas Agrícolas, el cual permite producir sin degradar el suelo, mejorando en muchos casos sus condiciones físicas, químicas y biológicas. Además logra hacer un uso más eficiente del agua, recurso que en cultivos de secano es generalmente el factor limitante en la producción.

La SD está siendo utilizada en todo el mundo en más de 125 millones de hectáreas (2007/2008) bajo las más diversas condiciones de clima y suelo (Derpsch y Fiedrich, 2010; Fiedrich *et al.*, 2012). Esta tecnología es una de las de mayor tasa de crecimiento, ya que el año 1973/74 solamente había 2,8 millones de hectáreas y creció a razón de 6,2 millones ha por año en 83/84 y a 38 millones ha en 96/97 (Derpsch, 1998). En los últimos 11 años la tasa promedio de expansión fue de 6 millones de hectáreas por año (Derpsch y Fiedrich, 2010).

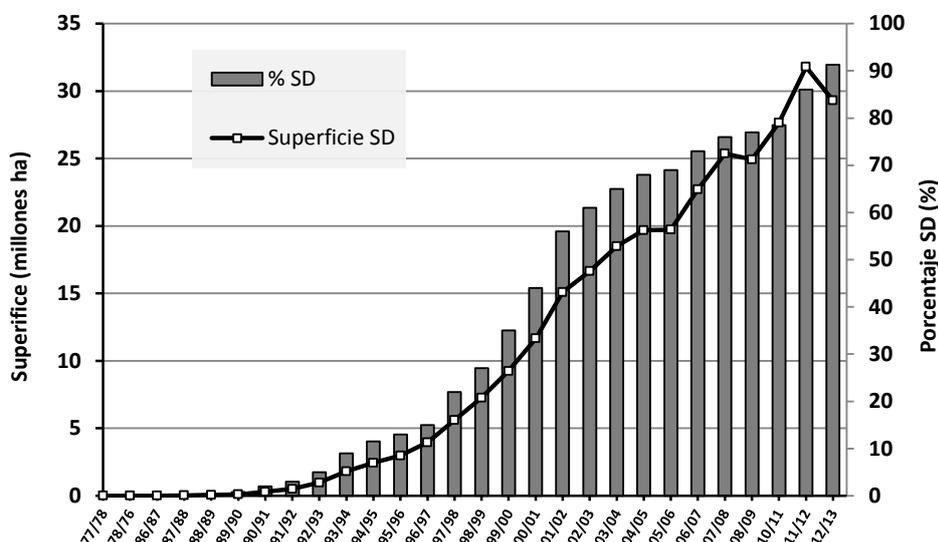
En sud América (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay) más del 70% de la superficie cultivada se encuentra sembrada bajo esta modalidad. Del total mundial esta zona representa el 45%, Estados Unidos y Canadá el 32%, 14% en Australia y Nueva Zelanda y el restante 9% para el resto del mundo incluyendo Europa, Asia y África (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1. Superficie de Siembra Directa en hectáreas, porcentaje para distintas zonas del mundo. Adaptado de Fiedrich et al. (2012).**

Zona	Área (M ha)	Porcentaje SD % tierra cultivada	
Sud América	55,46	45	57,3
Norte América	39,98	32	15,4
Australia y Nueva Zelanda	17,16	14	69,0
Rusia y Ucrania	51,0	4	3,3
Asia	4,7	4	0,9
Europa	1,35	1	0,5
África	1,01	1	0,3
<b>Total</b>	<b>124,79</b>	<b>100</b>	<b>8,8</b>

En algunos países la SD o la agricultura de conservación se limitan al sector de la investigación, pero cada vez se la considera un concepto práctico y adecuado para promover en el futuro la intensificación de la producción sustentable, la rehabilitación de las tierras degradadas y el uso de los servicios ecosistémicos.

En sud América la Argentina ha liderado la región ya que la mayor parte de la tierra cultivada se encuentra bajo SD 91,3% en el ciclo agrícola 2012/13 (Figura 1.2).



**Figura 1.2. Evolución de la superficie sembrada en Siembra Directa en hectáreas y en porcentaje. Elaboración propia, datos Aapresid 2013 y BCBA 2014.**

El nivel de adopción de la SD es similar a lo largo de territorio argentino encontrándose muy pocas diferencias entre zonas, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires las técnicas de SD conservación de suelo va en continuo crecimiento

acompañando a lo que ocurre en el resto del país, estimándose una adopción de más del 80% de la superficie agrícola bajo siembra directa para el partido de Balcarce (RIAN, 2014).

### **1.3.2. Ventajas y desventajas**

Para la producción aceptable de los cultivos se requiere de una adecuada densidad de plantas, de agua y buena nutrición además de una protección correcta contra la competencia de las malezas, plagas y enfermedades.

Desde el comienzo de la utilización de la SD se discuten sus ventajas y desventajas y en muchos casos ellas dependen de la situación y en qué lugar geográfico se realizan teniendo en cuenta que las diferencias se comparan con la labranza convencional.

Barker y Saxton (2006) enumeran las ventajas que aporta la SD, algunas están referidas al momento de la implantación de los cultivos, permitiendo ahorrar combustible al realizar menos labores de hasta un 40% (Aapresid, 2013) y por ende también se ahorra tiempo en implantar un cultivo. El uso de menos labores permite ahorrar 60% de mano de obra por hectárea, lo que optimiza el uso del tiempo.

Otro aspecto que mejora con la SD es la mayor disponibilidad de la materia orgánica (Studdert *et al.*, 1997) que se produce cuando se dejan residuos de los cultivos antecesores sobre o ligeramente enterrados para su descomposición. La materia orgánica es fundamental ya que controla las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Carter, 2002), además es fuente de energía para los microorganismos y de nutrientes para las plantas. Favorece la difusión del aire, la capacidad de infiltración, la retención del agua y mejora la densidad aparente.

La estructura del suelo determina el crecimiento de las raíces, el almacenaje y movimiento de agua y aire. Por ende las labranzas conservacionistas mejoran la estabilidad estructural como así también la infiltración asociada a una mayor disponibilidad de agua en los periodos críticos de los cultivos (Dardanelli, 1998). Asimismo la presencia y actividad de las lombrices contribuye a la mejor aireación, infiltración y drenaje del agua (Domínguez, J. *et al.*, 2004).

Al mismo tiempo minimiza el efecto de la erosión eólica e hídrica por efecto fundamentalmente de los rastrojos en superficie en un 96% según Aapresid (2013). La erosión del suelo disminuye debido a que las prácticas de manejo de los residuos

aumentan el contenido de materia orgánica y por ende se estabilizan los agregados superficiales al reducir las costras superficiales logrando disminuir la escorrentía.

Dentro de los aspectos económicos las ventajas están relacionadas con los menores gastos de algunos insumos, sumado a esto la viabilidad financiera ya que la mayoría de los estudios sugieren que al menos tiene una mínima ventaja con respecto a las prácticas convencionales y a la falta de consideración del capital social de una tecnología de conservación (Knowler y Bradshaw, 2007).

Uno de los aspectos que ha condicionado una adopción rápida de los sistemas de labranza reducida es el temor a no alcanzar rendimientos similares a los obtenidos con la labranza convencional. Este aspecto crucial se ha discutido en estudios llevados a cabo durante varios años (Milesi Delaye *et al.*, 2013) y se ha cuantificado el beneficio económico para el productor. En Argentina se alcanzó un aumento del 83% en los cultivos de soja y maíz (promedio de 18 años) y un beneficio global en el caso de la adopción de la siembra directa de 33,76 billones de dólares (Trigo *et al.*, 2009).

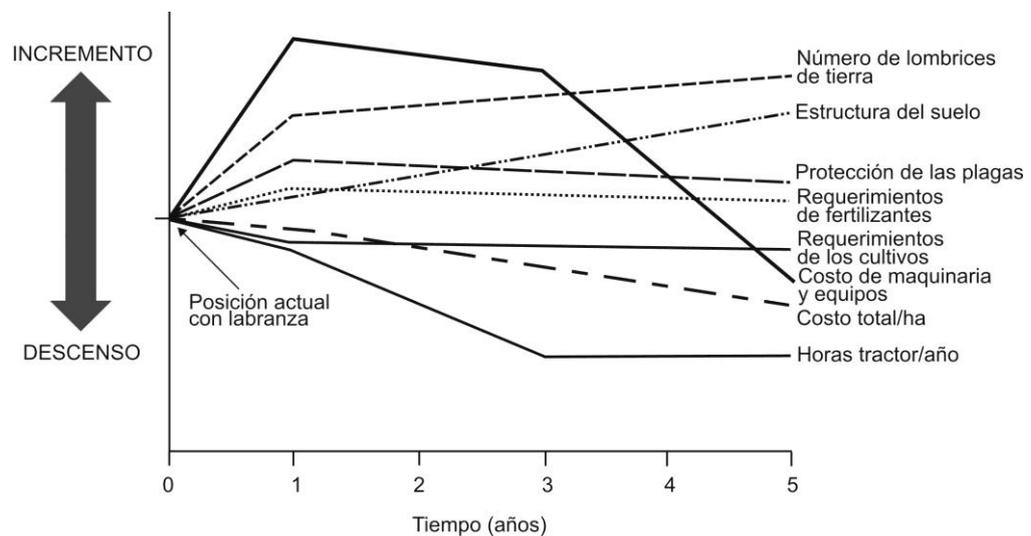
No obstante, es de vital importancia contar con la mayor cantidad de conocimientos sobre este sistema de labranza, sus posibles problemas y soluciones

En la agricultura uno de los problemas es el clima el cual es independiente del sistema de labranza pero la SD tiene la oportunidad de modificar significativamente su impacto. Efectivamente, en este sistema de labranza se cuenta con mayor traficabilidad de las maquinarias además de moderar los efectos de las lluvias y atemperar las temperaturas extremas y también la reducción de la erosión eólica (Barker y Saxton, 2006).

Debido al impacto de la SD sobre la dinámica del C en el suelo, ésta constituye la mejor forma de fortalecer a los servicios ecosistémicos. Se conocen algunos de sus beneficios como la formación de suelos, la fijación de N, la descomposición de la materia orgánica, el biocontrol de plagas y la polinización entre otros (Villarino *et al.*, 2014).

Sin embargo el primer obstáculo que presenta la SD es sembrar en un suelo sin roturar y con rastrojo en la superficie. Las labranzas destruyen los macroagregados y producen una pérdida de la estabilidad, debido a la acción directa y a la reducción de los contenidos de materia orgánica por exposición de las partes que se hallan protegidas.

No obstante, muchas de las desventajas del uso de esta tecnología son el resultado de la falta de conocimiento y/o de contar con medios inadecuados para la producción de los cultivos, pudiendo revertirse a medida que aumenta su adopción y el tiempo desde su incorporación (Figura 1.3).



**Figura 1.3. Tendencias probables a corto y mediano plazo que pueden surgir de pasar de labranza convencional a directa (adaptado de Carter, 1994).**

Una de las primeras dudas y por ende una desventaja es el temor a no lograr un cultivo exitoso, ya sea por errores en la adopción de medidas de control de plagas o de malezas.

Debemos considerar la necesidad de utilizar herramientas nuevas y diferentes a las utilizadas en la labranza convencional. Como no se nivela la superficie del terreno, las máquinas sembradoras deberían trabajar de manera que la fuerza de penetración permita colocar la semilla a una profundidad adecuada (Reicosky y Saxton, 2006). No obstante, las semillas pueden afectarse por sustancias tóxicas producidas por el contacto del rastrojo con el suelo. Dentro de este grupo de toxinas se encuentran sustancias alelopáticas las cuales producen efectos inhibitorios que condicionan y/o afectan el desarrollo del cultivo (Einhelling, 1996; Waller *et al.*, 1987). Algunos riesgos físicos surgen de la calidad del trabajo de las máquinas ya que éstas deberían manejar los rastrojos en beneficio de las semillas sembradas.

Otra de las desventajas de la SD es la alteración en la disponibilidad de N, afectada principalmente por la descomposición mayor de la materia orgánica que puede

bloquear temporalmente el N y a la menor mineralización del N orgánico del suelo. Por otro parte, el N puede migrar hacia la profundidad debido a los poros o biocanales realizados fundamentalmente por las lombrices (Dominguez, J. *et al.*, 2004; Santamaría *et al.*, 2004).

Al su vez en la SD la remoción de suelo, la presencia de rastrojo y la mayor utilización de los herbicidas de amplio espectro alteran la composición florística y la proporción de malezas. Asimismo, se altera la diversidad de la meso y macrofauna edáfica.

### **1.3.3. Rastrojo**

La SD se caracteriza por la presencia del rastrojo en la superficie no menos del 30% de cobertura.

Existen diversas formas que puede presentar el rastrojo, fijado al suelo con sus raíces sobretodo en los sistemas de pastoreo o en la rotación de cultivos anuales con ganadería. Esta forma produce algunas ventajas como es la aislación a temperaturas extremas, evitar la erosión eólica por la presencia de rastrojos anclados al piso. La otra forma de presentación es mediante restos de plantas fundamentalmente tallos de distintas medidas sobre la superficie del suelo a cultivar lo que puede dificultar la siembra por interferencia en la apertura del surco o por arrastre del material suelto. Estas cuestiones dependen de la cantidad, tipo de cultivo y grado de descomposición del rastrojo (Barker *et al.*, 2006).

La utilización adecuada del rastrojo permitirá que contribuya con sus funciones biológicas y ante su descomposición agregue C al suelo, si bien debe quedar una cantidad suficiente en superficie para prevenir la erosión, mantener la humedad y controlar las malezas. No obstante, en su proceso de descomposición, no debiera competir por nutrientes con los cultivos siguientes ya que los microorganismos descomponedores utilizan las sustancias nitrogenadas para degradar los restos vegetales.

El manejo adecuado del rastrojo comienza en la cosecha del cultivo cuando el rastrojo debe distribuirse de manera homogénea en la superficie. Así se evita, su acumulación en sectores del terreno los cuales, dificultan la siembra del cultivo siguiente además de, generar condiciones diferentes del ambiente suelo. Para el agricultor el manejo del rastrojo trae aparejado una serie de problemas como es el

posible bloqueo mecánico de la sembradora como así también el inconveniente biológico de enterrar parte del mismo en la línea donde va colocada la semilla.

Los rastrojos, junto con los restos de las raíces, son la principal fuente de carbono para la recomposición de la materia orgánica que pudiera haberse mineralizado durante el proceso productivo. Para la mayoría de los cultivos extensivos los rastrojos representan entre el 50 y el 70% de la masa total de carbono fijada por las plantas (Studdert, 1996). Además se incorporan al sistema N, P y K que se aplican con los fertilizantes. Estos aspectos permiten la sostenibilidad de la producción agrícola a largo plazo (Divito *et al.*, 2011). Las principales salidas son la erosión y la mineralización, por ende mucho recae en el tipo y momento del laboreo. En consecuencia, para poder reducir las pérdidas de C se requiere una exposición menor de la fracción lábil de la materia orgánica, mayor estabilidad estructural, disminución de la temperatura por la cobertura y además una menor pérdida por la erosión. En la región pampeana se determinaron pérdidas entre el 35 y 55% del contenido de C inicial en la capa de 0-20 cm (Sainz Rozas *et al.*, 2011). La combinación de las labores regula la entrada de C y se impone como una forma de manejar la dinámica de la materia orgánica del suelo (Quiroga y Studdert, 2015).

Los residuos en superficie disminuyen o atenúan el impacto de las gotas de lluvia y reducen la escorrentía superficial permitiendo acumular más agua. Como consecuencia no solo aumenta la cantidad de agua sino que mejora su disponibilidad para los cultivos al contar con una mayor cantidad de poros llenos de agua (Linn y Doran, 1984).

A su vez los residuos alteran el régimen térmico del suelo haciendo menores las temperaturas en verano y más elevadas las de invierno (Fabrizi *et al.*, 2005), constituyendo en consecuencia un impedimento para el intercambio calórico entre el suelo y la atmósfera. Además cambia el balance de radiación, ya que los rastrojos (generalmente de color más claro que el suelo) reflejan más la radiación y reducen la cantidad de energía que llega directamente al suelo haciendo que este se caliente menos (van Doren y Allmaras, 1978).

La incorporación de los fertilizantes y de algunos fitosanitarios presentan dificultad para incorporarse al suelo o para quedar en la superficie del suelo por debajo del rastrojo.

Esto significa que cualquier planteo productivo que contemple la eliminación total o parcial de los rastrojos acelera la pérdida de algunas propiedades del suelo siendo que, es uno de los factores que regula la dinámica hídrica en la interfase suelo-atmósfera (Quiroga y Studdert, 2015).

La SD eleva el uso de herbicidas por unidad de superficie y esto junto con otras causas permiten observar cambios en la proporción de especies de malezas, especialmente cuando se trata de malezas perennes (Teasdale y Mohler, 2000; Bedmar *et al.*, 2001). Además, la presencia de residuos en la superficie crea un problema en cuanto a la efectividad de la aplicación, causando no sólo un bloqueo de la llegada del herbicida al suelo sino que también intercepta los impactos de las gotas protegiendo a las plántulas de malezas en crecimiento.

El cambio de hábitat de algunos organismos hace que su densidad poblacional se incremente. El rastrojo como el no laboreo promueve el desarrollo de los organismos de manera preocupante, especialmente aquellos que habitan en el suelo (Stinner y House, 1990; Wolters y Ekschmitt, 1997). Se han detectado algunos organismos o grupos que han pasado del status de plaga emergente a plaga clave en este sistema. Un ejemplo son los moluscos y los crustáceos terrestres (Costamagna *et al.*, 1999; Manetti *et al.*, 2006).

No obstante Reicosky y Saxton (2006) indicaron que el control de insectos y enfermedades ha sido un problema menor, aun con producciones de cultivos pobres independientemente del sistema de labranza utilizado. Como ocurre con las malezas, las enfermedades y los problemas de plagas no pueden evitarse con la SD no obstante pueden cambiar a nuevas especies.

#### **1.3.4. Materia orgánica**

La materia orgánica es uno de los principales componentes edáficos que más incide sobre la naturaleza, magnitud y el mantenimiento de los servicios con los cuales el suelo contribuye al funcionamiento del agroecosistema (Quiroga y Studdert, 2015).

La materia orgánica está compuesta por distintas fracciones de distinta labilidad o tiempo de reciclado. La materia orgánica particulada es la fracción orgánica mayor a 50 µm compuesta de restos vegetales, animales y hongos con una alta relación C/N y un rápido recycle. La parte no lábil es la protegida química o físicamente en microagregados con baja relación C/N y además baja tasa de reciclado (Dominguez *et al.*, 2005). Esta fracción es fuente de nutrientes para las plantas y microorganismos y

además es la que mayor contribuye al mantenimiento de la estabilidad de la estructura, la infiltración de agua, la resistencia a la erosión y la facilidad de laboreo de los suelos (Carter, 2002).

La parte lábil es la más sensible a las prácticas de manejo y al tipo de cultivo. En general, la cantidad de residuos retornados al suelo es el factor más importante en la dinámica de la materia orgánica. Una cantidad elevada de rastrojo indica menor caída de la cantidad de materia orgánica o incluso recuperación (Dominguez, G. *et al.*, 2004). Según Studdert *et al.* (1997) la ubicación de los residuos en la superficie o semienterrado junto con la menor intensidad de laboreo asociado a las labranzas conservacionistas, establecen una dinámica del carbono que se traduce en un incremento de la materia orgánica en los primeros centímetros de suelo y una disminución más lenta a lo largo del tiempo bajo agricultura.

La SD directa aumenta la cantidad de C en el suelo como así también la cantidad de N debido fundamentalmente a la mayor actividad microbiológica en comparación con la labranza convencional (Doran, 1980; Dominguez *et al.*, 2009; Mathew *et al.*, 2012; Wyngaard *et al.*, 2012; Quiroga y Studdert, 2015). El balance de C se debe utilizar como un aspecto importante en el manejo de los suelos, ya que el C capturado del CO<sub>2</sub> atmosférico por las plantas es devuelto al suelo a través de la humificación. Los flujos de entrada y salida y su magnitud o tasa dependen del manejo de los cultivos. (Lal, 2004).

La mayoría de los estudios indican que la SD tiene efectos positivos sobre la materia orgánica y de ésta sobre las propiedades físicas de los suelos (Quiroga *et al.*, 1998).

A su vez el clima y tipo de suelos afectan la materia orgánica así suelos fríos y húmedos poseen una tasa menor de reciclado y su producción supera la tasa de mineralización.

Con una consideración holística e integrada de todas las prácticas de manejo que intervienen en el sistema de cultivos se podrá compensar las salidas de C. Pero es importante un resguardo o cuidado especial a la hora de adoptar una práctica de manejo, sobre todo porque la erosión produce pérdida de suelo que es irrecuperable o irreversible (Quiroga y Studdert, 2015).

### 1.3.5. Efectos sobre los organismos

Existen diversos organismos (macro y microscópicos) relacionados con el suelo, dentro de los cuales se encuentran malezas, hongos, bacterias, algas, nematodos, moluscos y artrópodos, entre otros. Muchos de estos organismos pueden ser afectados en forma positiva, neutra o negativa por el manejo que se realice del suelo. Además de la adopción de la siembra directa como sistema de labranza conservacionista se incorpora un elemento adicional que es el rastrojo el cual puede ser refugio o nuevo hábitat para diferentes organismos. Por esta razón, se genera un ambiente menos perturbado que favorece la provisión de alimentos y refugios para el desarrollo de determinados organismos tanto benéficos como perjudiciales (Wilson-Rummenie *et al.*, 1999; Capowiez *et al.*, 2009).

La emergencia más lenta de los cultivos bajo SD representa otro factor predisponente al ataque de organismos que afectan en el comienzo del desarrollo del cultivo (Stinner y House, 1990).

El efecto de no laboreo sumado al rastrojo en superficie afecta a la presencia y proporción de malezas en los cultivos. Disminuye la utilización de herbicidas de amplio espectro de control, produciéndose a lo largo del tiempo malezas nuevas más adaptadas a la SD (Papa, 1998; Bedmar *et al.*, 2001). Asimismo los restos vegetales en la superficie o semienterrados constituyen el sustrato básico para el desarrollo de muchas enfermedades ya que incrementa la cantidad de inóculo mientras que, en otros casos los rastrojos influyen negativamente porque permiten el incremento de la población de organismos antagónicos (Giorda y Vallone, 2001; Formento, 2001).

El laboreo del suelo modifica directa o indirectamente la composición de la fauna del suelo (Stinner y House, 1990; Ferreres Castiel, 1998). Esta fauna está compuesta por un grupo de organismos de diferente tamaño del cuerpo, constituyendo tres grupos denominados microfauna, mesofauna y macrofauna (Lavelle, 1997; Kladivko, 2001). Algunos pueden vivir sobre el suelo (epigeicos) y otros en el suelo (endogeicos) (Hendrix *et al.*, 1990; Marasas, 2002).

De acuerdo al tamaño, la microfauna está compuesta por organismos de menos de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro constituido fundamentalmente por protozoarios y nematodos. La mesofauna está conformada por organismos con un diámetro de cuerpo entre 0,1 a 2 mm (Swift *et al.*, 1979) incluye a los enquitreidos (Annelida: Oligochaeta,

Enchytraeidae). La macrofauna está constituida por los individuos que tienen un diámetro del cuerpo mayor a 2 mm y son los que tienen efecto más directo sobre las propiedades del suelo e incluye a los Annelida: Oligochaeta, Megadrilli (lombrices), Crustacea: Isopoda (bicho bolita), Chilopoda (ciempiés), Diplopoda (milpiés), Insecta: Hymenoptera (hormigas), Coleoptera y Diptera.

Además del no laboreo y del rastrojo, la humedad, la temperatura del suelo y la disponibilidad de alimentos son algunos de los factores ambientales y biológicos que modulan la fluctuación estacional de la fauna del suelo (Gupta y Yates, 1998). A esto le debemos agregar la variación en la composición de las comunidades y la densidad de la población de malezas que le otorgan refugio y/o alimento (Lietti *et al.*, 2008).

Dentro de la gran diversidad de los invertebrados (macro y mesofauna) se debe tener en cuenta que sus integrantes cumplen diversas funciones según sus hábitos de vida: perjudiciales, cuando se alimentan de partes de plantas cultivadas o al dispersar semillas de malezas o benéficos cuando producen efectos positivos al descomponer la materia orgánica y reciclar los nutrientes. Por último pueden intervenir en el control biológico o participar en los procesos de polinización (Zaccagnini y Calamari, 2001).

Además algunos de estos organismos de la fauna edáfica se pueden considerar potenciales indicadores de la salud del suelo como son los oligoquetos megadrilos (lombrices) y dentro de los insectos los colémbolos y carábidos.

#### **1.3.5.1. Mesofauna**

Los enquitreidos constituye un grupo importante de bioindicadores y más activos dentro de la mesofauna, estrechamente relacionados con la descomposición de la materia orgánica y ciclado de los nutrientes mediante la modificación de los agregados y la porosidad del suelo incrementando el volumen de los poros y la infiltración del agua (van Vliet *et al.*, 1993; Linden *et al.*, 1994).

Otros organismos que habitan el suelo son los colémbolos, artrópodos que viven en diferentes tipos de ambientes edáficos (Petersen y Luxton, 1982; Hopkin, 1997). Junto con los ácaros, son los microartrópodos más abundantes y representan el 95 % de la mesofauna edáfica (Seastedt, 1984; Hopkin, 1997; Rusek, 1998; Petersen, 2002). Los colémbolos cumplen una función importante interviniendo en los procesos de descomposición de la materia orgánica, así como en el ciclado y mineralización de los nutrientes, manteniendo de esta forma la fertilidad del suelo (Petersen y Luxton, 1982;

Hopkin, 1997; Petersen, 2002). Además son presas importantes para los predadores polífagos (Hopkin, 1997) y viven en estrecha asociación con la microflora y fauna del suelo. Son artrópodos muy pequeños, alargados, la mayoría miden entre 1 a 2 mm de longitud y su alimentación se compone de una mezcla de detritos, algas, bacterias y hongos (Hopkin, 1997). Son afectados significativamente por las acciones realizadas a los suelos como el laboreo (Fox *et al.*, 1999).

### 1.3.5.2. Macrofauna

Las lombrices son comunes en muchos suelos y entre los invertebrados son los más abundantes, representando un 92 % de la biomasa total de invertebrados del suelo (Lee, 1985; Momo y Falco, 2010). De acuerdo a su hábitat principal y a su estrategia de alimentación, Bouché (1977) propone clasificar a las lombrices en tres grandes grupos morfo – ecológicos: epígeas, endógeas y anécicas. Las especies epígeas viven sobre la superficie del suelo bajo la hojarasca asociadas a los cúmulos de materia orgánica y actúan favoreciendo su mineralización debido a que trituran y fragmentan los restos orgánicos frescos. En cambio, las endógeas viven siempre dentro del suelo y se alimentan de suelo enriquecido con la materia orgánica proporcionándole una estructura grumosa. Por último, las especies anécicas construyen galerías verticales que mejoran la infiltración e incorporan los restos de materia orgánica al suelo.

La mayoría de las lombrices consumen fracciones de suelo mineral mezclado con el material orgánico en descomposición y unas pocas consumen solo el material orgánico (Doube *et al.*, 1997). El material orgánico en descomposición consiste en tejidos vegetales muertos que contienen microorganismos, nematodos y organismos de la micro y mesofauna (Lee, 1985). La mayoría de las especies son sensibles a los niveles bajos de materia orgánica y a las perturbaciones causadas por los sistemas de labranza convencional (Momo y Falco, 2010).

Los sistemas de labranza reducida pueden influir positivamente en la abundancia y riqueza de las lombrices (Kladiko *et al.*, 1997; Emmerling, 2001). Aunque se las considera como indicadores prácticos del tipo de manejo de suelo que se está realizando, se observan ausencias en el conocimiento sobre cómo afectan los factores físicos, químicos y biológicos sobre su distribución y abundancia (Mele y Carter, 1999).

Las lombrices y las hormigas pueden modificar la estructura del suelo a través de la formación de macroporos y de la formación de agregados (Lee y Foster, 1991;

Fonte *et al.*, 2007) los cuales junto a otros organismos la intervienen en el ciclo de los nutrientes, promueven el desarrollo radicular y por ende mejoran los cultivos y sus rendimientos (Linden *et al.*, 1994).

Dentro de la macrofauna los coleópteros son un grupo numeroso, con una considerable riqueza y diversidad, que junto con los dípteros e himenópteros, constituyen más de los dos tercios de la artropodofauna existente en cualquier agroecosistema. Los coleópteros se encuentran en todos los niveles tróficos y comprenden más de 100 familias, siendo Carabidae una de las más numerosa (Kromp, 1999). Esta familia tiene hábitos fundamentalmente ligados al suelo y por esta razón, son ampliamente conocidos como “escarabajos del suelo”. En su mayoría habitan en la superficie del suelo mientras que, solo unas pocas especies se mueven dentro de los estratos de la vegetación (Kromp, 1999). Son nocturnos y permanecen ocultos durante el día debajo de las piedras, musgos, madera en putrefacción, corteza de los árboles y hojarasca. La mayoría de la especies son de ciclo anual y la capacidad de sobrepasar el invierno y recolonizar los cultivos es la principal barrera que deben sortear.

Muchos integrantes de esta familia cumplen servicios importantes en los suelos, favoreciendo la productividad de los cultivos. En efecto, se comportan como predadores específicos o inespecíficos de organismos considerados plagas en los cultivos.

Además, son organismos mejoradores de la estructura y fertilidad del suelo, ya que a través de sus secreciones y deyecciones promueven la creación de un microhabitat edáfico propicio para el desarrollo de aquellas comunidades de microorganismos directamente involucrados en la degradación de la materia orgánica. También, intervienen en el mejoramiento de las cualidades físicas del suelo debido a la actividad mecánica ejercida por el desplazamiento superficial o profundo de aquellas especies fosoras, tanto en sus estados larvales como adultos. Las especies fosoras construyen galerías subterráneas de hasta 30 cm o más de profundidad, siendo éste el lugar de hibernación para las larvas y los adultos. El conjunto de estas actividades favorecen la aireación e infiltración del agua creando condiciones favorables para un crecimiento adecuado de las raíces de las especies cultivadas. Los sistemas de labranza no ejercen una tendencia única ni clara, ya que hay situaciones donde las poblaciones aumentan o disminuyen dependiendo seguramente de otras interferencias como el tipo de cultivo realizado, tipo de fertilizantes o fitosanitarios aplicados al suelo (Kromp, 1999).

Muchos de estos organismos epigeos pasan parte de su vida dentro de la matriz del suelo situación que resulta relevante en el desarrollo de estos organismos.

Otros de los organismos que se encuentran en SD son los Isópodos (Crustacea: Isopoda). El más común es *Armadillidium vulgare* que tiene la capacidad de enrollarse formando una esfera verdadera, razón por la cual es llamado vulgarmente “bicho bolita”. Son de hábitos nocturnos y mantienen el balance de humedad refugiándose en lugares húmedos (Warburg, 1964). Durante los períodos secos, estos crustáceos descienden por las fisuras del suelo y se agregan en pequeñas áreas del suelo húmedo superficial.

En general los isópodos son omnívoros, alimentándose tanto de detritos, hongos, plantas vivas o muertas y animales muertos. Sin embargo, se alimentan preferentemente del material vegetal muerto y se los considera en este sentido funcionalmente detritívoros. Algunos autores indican que los detritívoros se encuentran rodeados de alimentos en abundancia y por ello sugieren que el alimento no es un factor que influya sobre la fluctuación poblacional de los isópodos terrestres (Warburg *et al.*, 1984). No obstante, se ha demostrado que la calidad del alimento ocasiona cambios en la densidad poblacional (Zimmer y Topp, 2000; Faberi *et al.*, 2014), pudiendo ser éstas algunas de las causas que en la actualidad aparezca como plaga en el sudeste bonaerense (Argentina).

En la Argentina, se observan daños ocasionados por *A. vulgare* en los cultivos de soja y girasol. La incidencia de la especie en los cultivos ha aumentado desde los primeros registros y en la actualidad es una especie que se monitorea antes de la implantación de aquellos cultivos.

En ocasiones, producen defoliaciones en las plántulas que provocan deficiencias en el desarrollo o la muerte (Manetti *et al.*, 2006; Mastronardi, 2006).

Debido a la aparición repentina y a la incidencia cada vez mayor de estos organismos como plagas, la Argentina fue el país que mayores esfuerzos ha realizado para aportar herramientas de manejo de la plaga.

Por todas las razones expuestas previamente, es que la SD se considera como una práctica que está acompañada de un incremento en la severidad de las plagas, especialmente para aquéllas que habitan en el suelo (Stinner y House, 1990). La biomasa de los macroartrópodos se incrementa en campos bajo SD (Wolters y

Ekschmitt, 1997) y muchos de ellos, como *A. vulgare*, se convierten en plagas de los cultivos (Aragón, 2003). La emergencia más lenta de los cultivos bajo SD representa otro factor predisponente al ataque de estos organismos que afectan en el comienzo del desarrollo del cultivo (Stinner y House, 1990).

## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS**

### **2.1. HIPÓTESIS**

En las condiciones edafoclimáticas típicas del Sudeste Bonaerense (Argentina) descritas en los Anexo I (Caracterización de los suelos utilizados) y II (Caracterización agroclimática):

- ✓ La temperatura y humedad del suelo es alterada por el sistema de labranza pudiendo modificar el hábitat de organismos que habitan en el suelo.
- ✓ La utilización del sistema de siembra directa modifica la composición de los organismos de la macro y mesofauna del suelo.
- ✓ El sistema de siembra directa, debido a la falta de labores y de rastrojo en la superficie, altera la proporción de organismos epígeos en el momento de la siembra de un cereal de invierno y otro de verano.
- ✓ La incidencia de plagas que afectan a los cultivos (trigo y maíz) en el periodo de emergencia varía con el sistema de labranza.
- ✓ Las plagas aéreas y los enemigos naturales no difieren en diversidad o abundancia en los cultivos en siembra directa o en labranza convencional.

## **2.2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Estudiar las poblaciones de organismos perjudiciales y benéficos durante el desarrollo de los cultivos de trigo y maíz en sistemas de siembra directa y labranza convencional ubicados en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- I. Determinar la temperatura y la humedad del suelo durante el desarrollo de los cultivos de trigo y maíz bajo siembra directa y labranza convencional.
- II. Determinar la densidad de la macrofauna y mesofauna y su abundancia relativa en el suelo en el momento de la siembra del cultivo de trigo y maíz.
- III. Determinar la densidad de los individuos que se encuentran sobre el suelo bajo siembra directa en el periodo de implantación de los cultivos de trigo y maíz (Julio-Agosto, Octubre-Noviembre respectivamente).
- IV. Determinar la densidad activa de la macrofauna durante el desarrollo del cultivo (trigo-maíz).
- V. Determinar la diversidad y abundancia de los Carábidos durante el desarrollo de los cultivos de trigo y maíz, en siembra directa y labranza convencional.
- VI. Evaluar la presencia de los organismos perjudiciales, nivel de daño y de la fauna benéfica durante el desarrollo de los cultivos de trigo y maíz bajo los sistemas de labranza convencional y siembra directa.

## **3. ÁREA DE ESTUDIO**

### 3. ÁREA DE ESTUDIO (Extractado Anexo I y II)

El partido de Balcarce está ubicado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires - Argentina, presenta un relieve caracterizado por la presencia de sierras de Sistema de Tandilia, con elevaciones que tienen su máxima expresión en la Sierra la Bachicha (383 msnm) y un ambiente de llanura en el sector norte y noreste donde se desarrollan las áreas de menor altura del orden de los 35 metros.

Se pueden determinar tres ambientes geomórficos principales: Sierras, Franja eólica periserrana y Planicie pluvioeólica.

Los suelos desarrollados sobre la Franja Eólica Periserrana son la mayoría de aptitud agrícola y pueden separarse, por un lado, en asociaciones de suelos constituidas por Argiudoles Líticos, Paleudoles Petrocálculos y Argiudoles Típicos en las cercanías de las Sierras o en las lomas controladas por una estructura rocosa subyacente.





**Vistas del paisaje típico del Partido de Balcarce – Pcia Buenos Aires, Argentina**

Los lotes donde se realizarán los muestreos en las tres campañas están ubicados en la Franja eólica periserrana y sus suelos pertenecen al Orden Molisoles y al Suborden Udoles (Figura 3.1).

Los suelos están agrupados en dos Series Mar del Plata (Mp) y Balcarce (Bal), presentando en la primera un suelo Argiudol Típico fino, mixto, térmico y en la segunda Serie un Paleudol Petrocálcico fino, ilítico, térmico sin limitaciones físicas.

El Argiudol típico es un suelo oscuro, profundo, con fuerte desarrollo, su aptitud es agrícola, bien drenado, desarrollado sobre sedimentos loésicos franco limosos, no salino, no alcalino, en pendientes de 1 a 3%. Ocupan el 35% del partido de Balcarce y se presenta en los tres ambientes geomórficos. Son de uso agrícola con algunas limitaciones por peligro de erosión por sus pendientes.

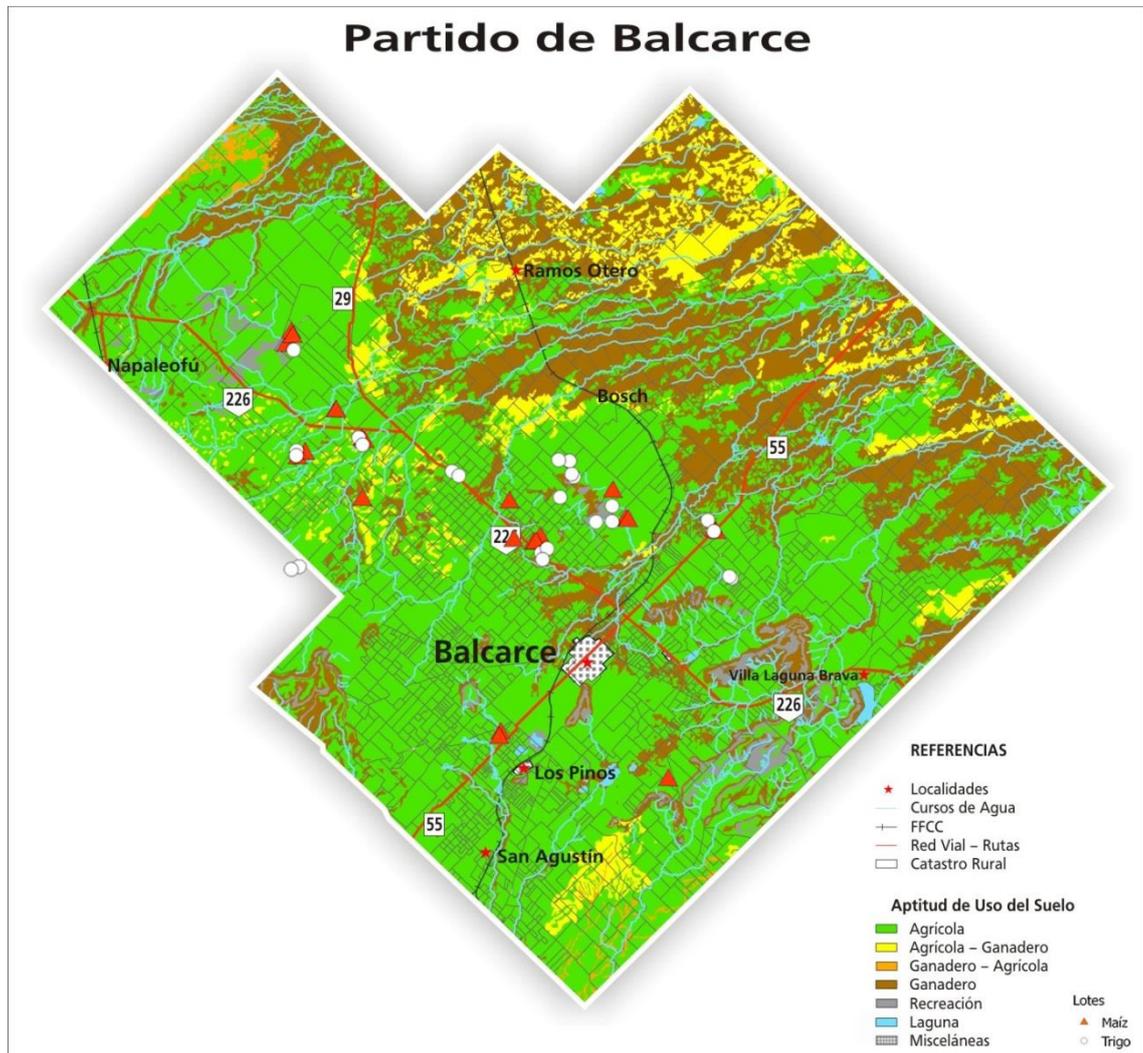
El Paleudol Petrocálcico es un suelo muy oscuro, moderadamente profundo y de aptitud agrícola, se encuentra en un paisaje de relieve suave a ondulado en posición de lomas y pendientes de la Subregión Sierras y Pedemonte del Sistema de Tandilia, bien drenado, formado en sedimentos loésicos fino, no alcalino, no salino, pendiente 1-3%.

De uso agrícola con algunas limitaciones en el manejo por erosión y en algunos casos limitaciones por escasa profundidad en la zona radicular. Representa el 11,2% del partido de Balcarce.

El clima en esta zona es mesotermal, húmedo a subhúmedo (según la clasificación de Thornthwaite) o templado húmedo sin estación seca (según la clasificación de Köppen). La temperatura media anual es de 13 °C y la media anual de precipitaciones es de 928 mm (promedio para 1970-2000); 80% de las precipitaciones ocurren durante la primavera y el verano (Anexo I y II).

El partido de Balcarce junto con Gral. Pueyrredón, Gral. Alvarado, Lobería y Tandil se encuentran ubicados en la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires. Esta zona posee una superficie promedio destinada a la agricultura de alrededor de 66,3% y de 22,2% para ganadería. Estos partidos aportan el 12,9% de girasol, 8,2% de soja, 7,6% de maíz y 6,6% de trigo sobre el total de la superficie cultivada en la provincia de Buenos Aires (12,8 millones de hectáreas).

El porcentaje de adopción de técnicas de conservación de suelo va en continuo crecimiento acompañando a lo que ocurre en el resto del país, estimándose una adopción de más del 70% de la superficie agrícola bajo siembra directa.



**Figura 3.1. Distribución de los lotes muestreados durante los ciclos 2002/03, 2003/04 y 2004/05 para los cultivos de trigo y maíz bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).**

## **4. CAPÍTULO I**

#### 4. CAPITULO I

### TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO BAJO LABRANZA CONVENCIONAL Y SIEMBRA DIRECTA

**Manetti, P. L.; Faberi, A.J.; Clemente, N.L y A.N. López**

Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Nacional de Mar del Plata– Estación Experimental Agropecuaria, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (UIB), C.C. 276 (7620), Balcarce, Argentina.

#### Resumen

La siembra directa (SD) ha permitido disminuir los riesgos de erosión y mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, entre ellas la infiltración. Además, la presencia de residuos vegetales en la superficie influye sobre la radiación incidente en el suelo y actúa como aislante térmico, por lo cual se espera que bajo SD la temperatura del suelo es menor y la humedad del suelo es mayor que en labranza convencional (LC). El objetivo del presente estudio fue determinar la temperatura y la humedad del suelo bajo SD y LC durante el desarrollo de los cultivos de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de maíz (*Zea mays* L.). Se tomaron muestras en dos ciclos agrícolas de trigo y de maíz en lotes comerciales bajo LC y SD. Quincenalmente y durante el desarrollo de los cultivos se registró en cada lote la temperatura y el contenido de agua del suelo. La temperatura del suelo se registró tomando 3 muestras por lote con un termómetro digital a 5 cm de profundidad y el contenido de agua mediante el método gravimétrico (p/p), para ello se tomaron 3 muestras de suelo hasta los 5 cm de profundidad. En el cultivo de trigo en 2003 se detectaron diferencias de temperatura entre los sistemas, siendo la temperatura del suelo 0,68°C superior en SD respecto a LC. En 2004, no se encontraron diferencias de temperatura entre ambos sistemas. Los porcentajes de humedad fueron 19,7 y 18,3 % para SD y LC respectivamente en 2003 y de 16,2 y 14,8% para SD y LC respectivamente en 2004 y no se hallaron diferencias entre los sistemas de labranza. En el cultivo de maíz, no se hallaron diferencias significativas en la temperatura entre los sistemas de labranza. El contenido de humedad del suelo fue significativamente superior en SD en el 2003, 18,9 y 15,2% en SD y LC respectivamente. Mientras que, en 2004 no se hallaron diferencias. Se concluye que la temperatura fue el factor menos afectado por los sistemas de labranza aunque pueden ocurrir fluctuaciones horarias que deberían ser

estudiadas. En tanto, los sistemas bajo SD demostraron su mayor capacidad de retención de agua, en el periodo con mayor evapotranspiración, en el ciclo agrícola con mayores precipitaciones.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema de labranza, régimen térmico, agua del suelo

### **Introducción**

La SD es la forma extrema de reducción de labranzas y consiste en sembrar un cultivo directamente sobre los residuos vegetales de praderas o cultivos antecesores, sin la realización de labores que signifiquen la remoción del suelo (Studdert y Echeverría, 2000). En SD, los residuos de los cultivos anteriores acumulados en la superficie permiten reducir la erosión hídrica y eólica. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, se ha incrementado la utilización de la siembra directa (SD) con objeto de minimizar los procesos de erosión y degradación de los suelos ocasionados por el uso continuo de la labranza convencional (LC). De esta forma, la SD ha permitido disminuir los riesgos de erosión y ha mejorado algunas de las propiedades del suelo (Fabrizzi *et al.*, 2005).

Es en el suelo donde incide la radiación emitida por el sol, siendo la radiación neta la que efectivamente es absorbida por suelo y aumenta su temperatura. Este proceso se ve influenciado por el balance de energía necesario para calentar la fracción sólida, líquida y gaseosa del suelo (Bordenabe, 1998; Rizzalli, 1998). Por otra parte, una fracción de onda corta de la radiación incidente es reflejada por la superficie del suelo en el que incide, albedo. En sistemas bajo SD, los residuos vegetales afectan al albedo, respecto a la LC, de varias formas. El principal factor es el color de los residuos vegetales, al ser más claros que el suelo desnudo, reflejan una proporción mayor de la radiación de onda corta incidente (Gil & Garay, 2001). Otros factores que presentan diferente importancia son: el grado de descomposición de los residuos, la geometría o disposición de los mismos y la humedad, ya que un suelo más húmedo es más oscuro y refleja menos radiación. La presencia de residuos en superficie tiene un segundo efecto, actúa como aislante. El aire presente entre los residuos y la superficie del suelo posee baja conductividad térmica y en consecuencia el suelo con cobertura se calienta menos durante el día y se enfría menos durante la noche. Además, el mayor contenido de agua en el suelo bajo SD (por mayor infiltración y menor escurrimiento y evaporación)

aumenta su capacidad calórica, aumentando la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura del suelo (Gil y Garay, 2001).

Integrando los efectos de todos estos procesos se deduce que en sistemas bajo SD hay una disminución de la temperatura media y de la amplitud térmica respecto a la LC (Sarkar y Singh, 2007; Andraski y Bundy, 2008). Las diferencias observadas entre ambos sistemas de labranza pueden disminuir durante el desarrollo de los cultivos debido a que el canopeo produce un mayor sombreado (Andraski y Bundy, 2008). Los cambios que origina la cobertura del suelo, y los cambios potenciales en el ambiente térmico e hídrico del suelo pueden tener efectos en la fauna del suelo, tanto benéfica como perjudicial (Mantetti *et al.*, 2010; 2013), en el desarrollo inicial de los cultivos y en la velocidad de los procesos bioquímicos y biológicos que ocurren en los primeros centímetros del suelo (Wierenga *et al.*, 1980; Carter y Rennie, 1985; Dominguez *et al.*, 2005).

Teniendo en cuenta lo expuesto, puede plantearse que bajo SD la temperatura del suelo es menor y la humedad del suelo es mayor que en LC al inicio del desarrollo de los cultivos de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de maíz (*Zea mays* L.). El objetivo del presente estudio es determinar la temperatura y la humedad del suelo bajo SD y LC durante el desarrollo de los cultivos de trigo y de maíz.

### **Materiales y métodos**

El estudio se realizó en el área de influencia de la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (EEA Balcarce, INTA) (37° 45' 45'' S, 58° 18' 03'' W). El suelo en la región de muestreo es un complejo de suelos Argiudol Típico fino, mixto, térmico y Paleudol Petrocálcico fino, ilítico, térmico sin limitaciones físicas. Ambos suelos tienen similares características en su superficie, el pH es leve o moderadamente ácido y los contenidos de materia orgánica elevados (5 a 7%) (Studdert y Echeverría, 2000). La temperatura media anual es de 13 °C y la lluvia anual promedio es de 928 mm (promedio 1970-2000) ocurriendo un 80% de las lluvias en primavera - verano.

Se realizaron muestreos durante el desarrollo de cultivos de trigo (agosto - diciembre) y de maíz (noviembre - abril) en lotes comerciales bajo SD y LC en dos ciclos agrícolas (siembra - cosecha). En el ciclo agrícola 1 (año 2003) en cada cultivo se realizaron muestreos en 4 lotes bajo LC y en 4 bajo SD. En el ciclo agrícola 2 (año

2004), se muestrearon en trigo 4 lotes en cada uno de los sistemas de labranza y en maíz 3 lotes bajo LC y 4 bajo SD. Dichos lotes estuvieron ubicados dentro de un radio de 30 km desde la EEA Balcarce, INTA, y tuvieron una superficie entre 30 y 50 ha y los lotes bajo SD una historia de uso de al menos 5 años bajo ese sistema.

Quincenalmente y durante el desarrollo de los cultivos de trigo y de maíz, coincidentemente con la recolección de las trampas de caídas de los artrópodos (Manetti *et al.*, 2013), se registró en cada lote la temperatura y el contenido de agua del suelo. La temperatura del suelo se registró tomando 3 muestras por lote con un termómetro digital a 5 cm de profundidad. El contenido de agua del suelo se determinó mediante el método gravimétrico (p/p), para ello se tomaron 3 muestras de suelo hasta los 5 cm de profundidad de 100 cm<sup>3</sup>, las mismas fueron secadas en estufa a 60°C hasta peso constante.

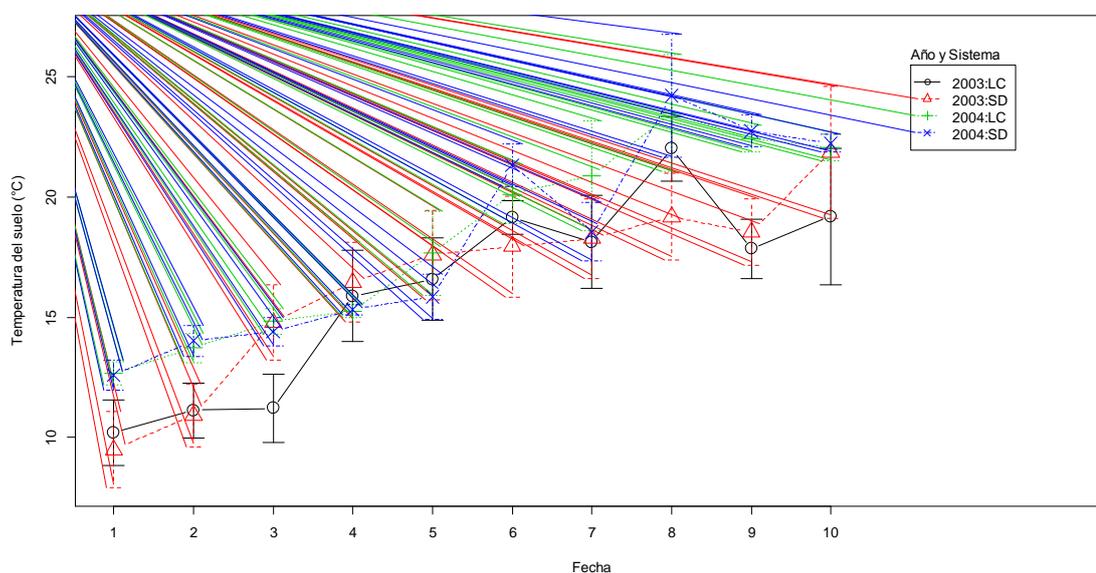
Con los datos de temperatura y humedad del suelo se realizaron análisis de la varianza mediante el procedimiento *lm* con un  $\alpha=0,10$ , del software R versión 2.15.1 (R Development Core Team, 2012).

## Resultados y discusión

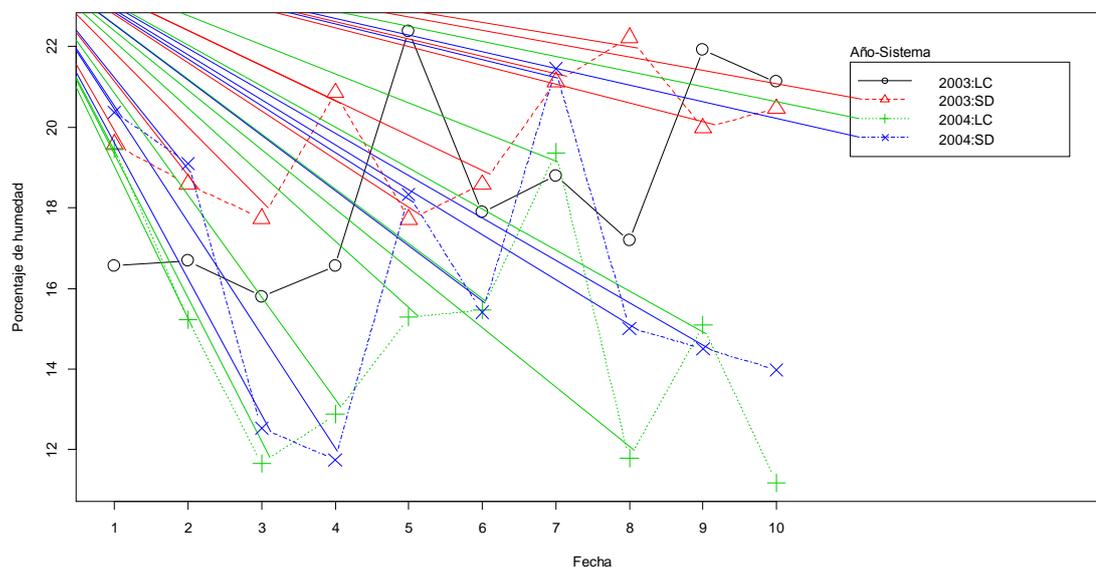
En 2003 la temperatura media anual fue de 14,1°C en y en 2004 de 14,5°C. Se registró un total de 1130 y 788 mm en el 2003 y 2004, respectivamente.

En la Figura CI.1 se presentan los datos de temperatura del suelo durante el desarrollo del cultivo de trigo en los ciclos agrícolas 2003 y 2004. En el primer ciclo, se detectaron diferencias de temperatura entre los sistemas ( $P = 0,059$ ), siendo la temperatura del suelo 0,68°C superior en SD respecto a la registrada en LC. Estos datos se contradicen con lo hallado por Carter y Rennie (1985) en la etapa inicial del cultivo de trigo, donde la temperatura a los 5 cm de profundidad es mayor en LC respecto a SD. En el sudeste bonaerense han sido registrados resultados similares, pero que se revierten con el avance del cultivo de trigo (Ferrerías *et al.*, 1999). Contrariamente, en el segundo ciclo agrícola no se encontraron diferencias de temperatura entre ambos sistemas ( $P = 0,6713$ ). En cultivos de invierno, la baja radiación solar incidente, produce escasas diferencias en la temperatura del suelo (0,4° C) entre sistemas de labranza (Domínguez *et al.*, 2005).

Coincidiendo con la cantidad de precipitaciones registradas en ambos ciclos agrícolas, la humedad del suelo fue menor durante el ciclo agrícola 2004 respecto a 2003. Los porcentajes de humedad fueron 19,7 y 18,3 % para SD y LC respectivamente en 2003 y de 16,2 y 14,8% para SD y LC respectivamente en 2004 y no se hallaron diferencias entre los sistemas de labranza ( $P = 0,098$  y  $P = 0,109$ , respectivamente) (Figura CI.2). Ferreras *et al.* (1999) encuentra solo en el inicio del cultivo de trigo mayor contenido de humedad en SD respecto a LC a los 3 – 8 cm de profundidad. Dichas diferencias en el contenido de humedad fueron mayores en capas más profundas del suelo (Dardanelli, 1998; Ferreras *et al.*, 1999).

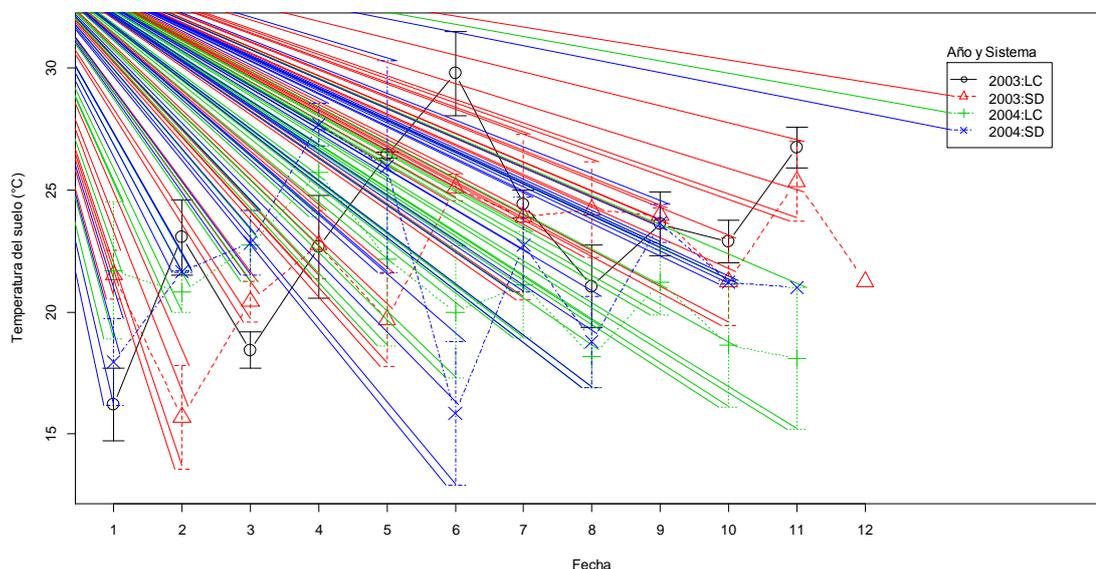


**Figura CI.1.** Temperatura del suelo a 5 cm de profundidad, en dos ciclos agrícolas del cultivo de trigo bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).



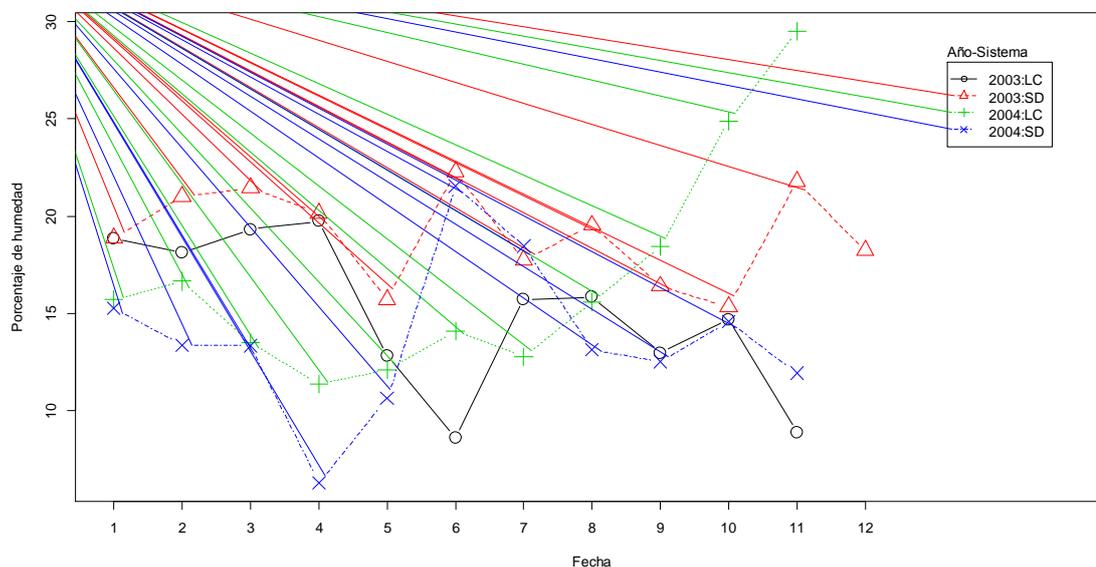
**Figura CI.2. Porcentaje de humedad del suelo a 5 cm de profundidad, en dos ciclos agrícolas del cultivo de trigo bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).**

Se han hallado diversos resultados respecto a las diferencias de temperatura en el cultivo de maíz entre sistemas de labranza. En el sudeste bonaerense se han reportando una temperatura  $0,5^{\circ}\text{C}$  mayor en SD respecto a LC en el inicio del cultivo (Domínguez *et al.*, 2001). Este resultado es similar al hallado en 2004, donde no se hallaron diferencias significativas entre sistemas de labranza ( $P = 0,859$ ). Mayores diferencias de temperatura entre sistemas de labranza fueron reportadas por Creus *et al.* (1998), Licht *et al.* (2005) y Andraski y Bundy (2008). Las diferencias fueron entre  $1,4$  y  $1,9^{\circ}\text{C}$  mayor en LC respecto a SD, si bien dependieron del momento del día y del momento del ciclo del cultivo. En el presente estudio, la temperatura bajo LC fue  $1,04^{\circ}\text{C}$  mayor respecto a SD en 2003, no hallándose diferencias entre los sistemas ( $P = 0,273$ ). Andraski y Bundy (2008) reportaron diferencias de hasta  $4^{\circ}\text{C}$  entre LC y SD cuando los residuos en superficie son el doble de lo normal. Durante los primeros 20 días desde la implantación del maíz, Kaspar *et al.* (1990) hallaron una temperatura, a 5 cm de profundidad, entre  $4,2$  y  $6,8^{\circ}\text{C}$  menor en los suelos con residuos en superficie respecto a los que no los tenían.



**Figura CI.3. Temperatura del suelo a 5 cm de profundidad, en dos ciclos agrícolas del cultivo de maíz bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).**

El contenido de humedad del suelo fue significativamente superior en SD en el 2003, 18,9 y 15,2% en SD y LC respectivamente ( $P = 0,0002$ ). Este resultado puede explicar la leve diferencia hallada en la temperatura de ese año (Figura CI.3). El suelo más húmedo en SD posee una mayor capacidad calórica y por lo tanto requiere de mayor cantidad de energía para aumentar su temperatura. En 2004, no se hallaron diferencias en el contenido de agua al momento de la siembra, similarmente a lo hallado por Creus *et al.* (1998) y Domínguez *et al.* (2001). No obstante, la humedad del suelo fue mayor en LC en las dos últimas fechas de evaluación ( $P = 0,035$ ), probablemente debido a la irregularidad espacial de las lluvias estivales. Similarmente a lo hallado en 2004, Moraru *et al.* (2011) indicaron que la humedad fue mayor en sistemas bajo SD respecto a LC desde el momento de la siembra y durante los estados vegetativos tempranos del cultivo (Figura CI.4).



**Figura CI.4. Porcentaje de humedad del suelo a 5 cm de profundidad, en dos ciclos agrícolas del cultivo de maíz bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).**

### Conclusión

En general, en SD se encuentra una menor temperatura y un mayor contenido de agua en el suelo, principalmente al inicio de los cultivos. La presencia de los residuos en la superficie ofrece una barrera a la radiación incidente y a la evaporación por parte del suelo. Luego, con el crecimiento de los cultivos, el desarrollo del canopeo suele reducir tales efectos. En este estudio que abarcó sistemas reales de producción, la temperatura fue el factor menos afectado por los sistemas de labranza. No obstante, debe señalarse que pueden ocurrir fluctuaciones horarias que deberían ser estudiadas. En tanto, los sistemas bajo SD demostraron su mayor capacidad de retención de agua, en el periodo con mayor evapotranspiración, en el ciclo agrícola con mayores precipitaciones.

### Bibliografía

- ANDRASKI, T.W.; L.G. BUNDY. 2008. Corn residue and nitrogen source effects on nitrogen availability in no-till corn. *Agron. J.* 100:1274-1279.
- BORDENABE, S. 1998. Efectos de la menor temperatura del suelo por presencia de residuos sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz.

- Monografía de Especialidad. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 45 p.
- CARTER, M.R. y RENNIE, D.A. 1985 Soil temperature under zero tillage systems for wheat in Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 65: 329-338
- CREUS, C.J., STUDDERT, G.A., ECHEVERRÍA, H.E. y S.R. SANCHEZ. 1998. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno en el suelo. *Cienc. suelo.* 16: 51-57.
- DARDANELLI, J. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranza. En: Panigatti, JL; H Marelli; D Buschiazzo; R Gil (eds.). *Siembra directa*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 107-115.
- DOMÍNGUEZ, G.F., STUDDERT, G.A., ECHEVERRÍA, H.E. y F.H. ANDRADE. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Cienc. suelo* 19(1): 47-56.
- DOMINGUEZ, G.F., STUDDERT, G.A. y H.E. ECHEVERRÍA. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. En: Echeverría, HE & FO García (eds.). *Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos*. Ediciones INTA. Balcarce, Argentina. pp. 207-229.
- FABRIZZI, K.P., GARCÍA, F.O., COSTA, J.L. y L.I. PICONE. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 81: 57-69.
- FERRERAS, L.A., COSTA, J.L. y F.O. GARCÍA. 1999. Temperatura y contenido hídrico del suelo en superficie durante el cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranza. *Cienc. Suelo* 17(2): 39-45.
- GIL, R.C. y A. GARAY. 2001. La siembra directa y el funcionamiento sustentable del suelo. En: Panigatti, JL; D Buschiazzo & H Marelli (eds.). *Siembra directa II*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 5-16.
- KASPAR, T.C., ERBACH, D.C. y R.M. CRUSE. 1990. Corn response to seed-row residue removal. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 54: 1112-1117.
- LICHT, M.A. y M. AL-KAISI. 2005. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil Till. Res.* 45, 39-57.

- MANETTI, P.L., LÓPEZ, A.N., CLEMENTE, N.L., y A.J. FABERI. 2013. Macrofauna Activity Density in Contrasting Tillage Systems in Buenos Aires Province, Argentina. *Agron. J.* 105(6): 1780-1786.
- MANETTI, P.L., LÓPEZ, A.N., CLEMENTE, N.L. y A.J. FABERI. 2010. Tillage system does not affect soil macrofauna in southeastern Buenos Aires province, Argentina. *Span. J. Agric. Res.* 8:377–384.
- MORARU, P.I., RUSU, T., BOGDAN. I., POP, A.I. y M.L. SOPTERAN. 2011. Effect of different tillage systems on soil properties and production on wheat, maize and soybean crop. *Lucrari Stiintifice* 54(2): 258-262.
- R Development Core Team. 2012. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>
- RIZZALLI, R.H. 1998. Siembra directa y convencional de maíz antes distintas ofertas de nitrógeno. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 60 p.
- SAKAR, S. y S.R. SINGH. 2007. Interactive effect of tillage depth and mulch on soil temperature, productivity and water use pattern of rainfed barley (*Hordium vulgare* L.). *Soil Till. Res.* 92, 79-86.
- STUDDERT, G.A. y H.E. ECHEVERRÍA. 2000. Maíz, girasol y soja en los sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. En: Andrade, FH & V Sadras (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. EEA Balcarce INTA-FCA, UNMDP. Balcarce, Argentina. pp. 407-437.
- WIERENGA, J.P., NIELSEN, D.R., HORTON, R. y B. KIES. 1980. Tillage effects on soil temperature and thermal conductivity, Cap. 5, p. 69-91. En: Unger PW, DM Jr Van Doren; F.D. Whisler y E.L. Skidmore (eds). Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA, SSSA, Madison.
- WILSON-RUMMENIE, A.C., RADFORD, B.J., ROBERTSON, L.N., SIMPSON, G.B. y K.L. BELL. 1999. Reduced tillage increases population density of soil macrofauna in a semiarid environment in Central Queensland. *Environ. Entomol.* 28(2): 163-172.

## **5. CAPÍTULO II**

## 5. CAPÍTULO II

### TILLAGE SYSTEM DOES NOT AFFECT SOIL MACROFAUNA IN SOUTHEASTERN BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

**Manetti, P. L., A. N. López, N. L. Clemente and A. J. Faberi**

*Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Estación Experimental Agropecuaria. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). CC 276. 7620 Balcarce. Argentina.*

#### **Abstract**

Soil degradation increased incessantly in the Pampas region of Argentina, due to the intensification of agricultural activities, when carried out with conventional tillage (CT) systems. No-tillage system was adopted as conservation practices by the farmers. The objectives of this study were: a) to determine the macrofauna taxa and their relative abundance under CT and NT in two different seasons; and b) to evaluate soil tillage and seasonal effects on the density of the main macrofauna taxa. The study was conducted from 2002 to 2004 in 46 production farms, in Balcarce, Argentina. Ten soil monoliths (25.2 cm side; 30 cm depth) randomly directed field at July-August; and at October-November to determine the number of individuals of macrofauna and Enchytraeidae. Soil macrofauna density did not differ between tillage systems. Oligochaeta Megadrilli density was generally not affected by the tillage system ( $P>0.05$ ) except in 2004 when it was greater under CT in July-August ( $P=0.0002$ ). Chilopoda density was greater in soils under NT, with significant differences in 2002 in October-November ( $P=0.0070$ ). In July-August of 2003 it was higher in CT ( $P=0.0109$ ). Diplopoda were more abundant only under NT in July-August 2004 ( $P=0.0010$ ). In July-August a significantly ( $P<0.05$ ) higher density of Enchytraeidae was found in CT than NT fields. No differences were observed in the taxonomic composition and the relative abundance of the macrofauna when comparing CT and NT. It can be then concluded that in the study region tillage systems affected slightly soil macrofauna and significantly Enchytraeidae.

**Additional key words:** abundance, conventional tillage, no-tillage, soil invertebrates.

#### **Resumen**

En la región pampeana Argentina se ha producido una degradación del suelo creciente

debido a la intensificación de las actividades agrícolas llevadas a cabo con sistemas de labranza convencionales (LC). La siembra directa (SD) fue adoptada como práctica conservacionista por los agricultores. Los objetivos de este estudio fueron, a) determinar los taxa de la macrofauna y su abundancia relativa bajo LC y SD en dos estaciones diferentes y b) evaluar los efectos de los sistemas de labranza y estaciones sobre la densidad de los principales taxa de la macrofauna. El estudio fue llevado a cabo desde 2002 hasta 2004 en 46 lotes de producción en Balcarce, Argentina. En cada lote se tomaron diez muestras de suelo al azar de (25,2 cm de ancho y 30 cm de profundidad) en julio-agosto y en octubre-noviembre para determinar el número de individuos de la macrofauna y de los Enchytraeidae. La densidad de la macrofauna no difirió entre sistemas de labranza. La densidad de Oligochaeta Megadrilli no fue afectada por el sistema de labranza ( $P>0,05$ ) excepto en 2004 cuando fue mayor bajo LC en julio-agosto ( $P=0,0002$ ). La densidad de Chilopoda fue mayor bajo SD, aunque solo se observaron diferencias significativas en octubre-noviembre de 2002 ( $P=0,0070$ ). En julio-agosto de 2002 la densidad fue mayor en LC ( $P=0,0109$ ). Diplopoda fue más abundante bajo SD sólo en julio-agosto de 2004 ( $P=0,0010$ ). La densidad de Enchytraeidae fue mayor en LC que en SD en el período julio-agosto ( $P<0,05$ ). No se observaron diferencias en la composición taxonómica y en la abundancia relativa de la macrofauna entre LC y SD. Se concluye que en la región de estudio los sistemas de labranza causan sólo efectos leves en la macrofauna del suelo y algunos efectos sobre los Enchytraeidae.

**Palabras clave adicionales:** abundancia, invertebrados del suelo, labranza convencional, siembra directa.

**Abbreviations used:** CT (conventional tillage), NT (no-tillage).

### **Introduction**

Since the 1980s the increased agricultural activities in Argentina and in the Pampas region particularly were accompanied by the use of intensive tillage systems (Studdert, 2003; Manuel-Navarrete *et al.*, 2005). Conventional tillage (CT) systems were characterized by an excessive use of plowing, chiseling and/or harrow disking, thus leading to soil degradation and erosion (Studdert and Echeverría, 2000; Miccuci and Taboada, 2006). This accelerated soil erosion and other degradation processes

*Publicado en Spanish Journal of Agricultural Research 2010 8(2), 377-384 (ISSN: 1695-971-X)*

influence agronomic productivity and the environment through their impact on the physical, chemical and biological factors related to soil quality (Lal *et al.*, 2007). As a consequence, farmers have been adopting sustainable cropping systems based on conservation agricultural practices such as direct drilling or no-tillage (NT). These systems are expected to improve physical and chemical soil properties and enhance soil microorganism activity (Pankhurst *et al.*, 1997).

It is generally believed that tillage has a negative impact on soil organisms living both in topsoil and subsoil horizons. The repeated mechanical disturbance of the substratum and removal of plant cover or a protective surface of leaf litter causes unstable microclimatic conditions in the profile of soil (wide fluctuations in temperature and moisture). These effects can produce high mortality of soil animals (Wallwork, 1976). On the other hand, under NT systems, crop residues are accumulated at surface, thus generating a complex biological system and creating more stable microclimatic conditions. In this environment soil fauna not only feed on crop residues but are also protected by them. Adopting NT practices therefore directly or indirectly modifies the taxonomic composition of the soil fauna (Stinner and House, 1990; Fereres Castiel, 1998).

Soil fauna is composed of a diverse group of organisms with body diameters that range from micrometers to several centimeters. Mesofauna body diameter ranges from 0.1 to 2 mm and includes enchytraeids (Annelida: Oligochaeta, Enchytraeidae) and microarthropods (Symphyla, Pauropoda, Acari, Collembola, Protura and Diplura). Enchytraeidae, one of the most important bioindicators groups, are the largest and most active of the mesofauna organisms and are related to organic matter decomposition, humification and nutrient cycling. In addition, Enchytraeidae biogenic structures and burrowing activities modify soil aggregation and porosity (Van Vliet *et al.*, 1993), increasing pore volume and water infiltration (Linden *et al.*, 1994).

Macrofauna includes organisms larger than 2 mm and has the most direct effect on soil properties. This community includes Annelida: Oligochaeta, Megadrilli (earthworms), Crustacea: Isopoda (woodlice), Chilopoda (centipedes), Diplopoda (millipedes), Insecta: Hymenoptera (ants) and Coleoptera and Diptera (adult insects and larvae). Macrofauna disintegrates and distributes organic litter throughout the soil profile, increasing organic substrate accessibility for microorganism activity (Linden *et al.* Publicado en Spanish Journal of Agricultural Research 2010 8(2), 377-384 (ISSN: 1695-971-X)

*al.*, 1994). Certain macrofauna groups, such as Oligochaeta Megadrilli and ants, modify the soil structure through the formation of soil aggregates and macropores (Lee and Foster, 1991), increasing soil infiltration, porosity and solute drainage. These processes promote soil root exploration and favor crop growth and development (Linden *et al.*, 1994).

In southeastern Buenos Aires province, Argentina, macrofauna and Enchytraeidae communities have been characterized in several farming systems (Clemente *et al.* 2003; López *et al.* 2005; Gizzi *et al.* 2009), but not yet under NT systems in the region. These systems are widespread at present. Soil moisture, soil temperature, availability of food (quantity and type) are key environmental and biological factors responsible for the seasonal fluctuations in the population of soil fauna (Gupta and Yates, 1998). The purposes of this study were: i) to determine the taxa of macrofauna and the relative abundance under conventional tillage and no-tillage in two different season, and ii) compare the density of the enchytraeids and the main macrofauna taxa in both tillage systems and seasons.

## **Material and methods**

### **Study area and systems management**

Forty-six fields were sampled under CT or NT was studied in Balcarce (Buenos Aires, Argentina) in production farms with at least five years under NT. The climate in this area is mesothermal, humid to subhumid (according to Thornthwaite classification) or as temperate humid without dry season (according to Köpen classification). The mean annual temperature is 13°C and a mean annual rainfall is 928 mm (averaged from years 1970 to 2000), with 80% of the rainfall occurring during spring and summer. Sampling periods were characterized by relatively cold winters (July-August mean daily air temperature of 7.4°C and 9.1°C, respectively) and moderate climate springs (October-November mean daily air temperature, 13.2°C and 16.0°C, respectively). Land is mainly devoted to extensive crop production; the soil was developed under grass vegetation, and eolic sediments (loess), which were transported during the Quaternary period and are rich in calcareous materials. Sampling sites are located in a lowly undulated area (116 to 160 m above sea level; 0.5 to 2.5% slope). Soil is a complex mixture of fine, mixed, thermic Typic Argiudolls and fine, illitic, thermic Petrocalcic Paleudolls (USDA classification). Both soil types have similar properties at surface.

*Publicado en Spanish Journal of Agricultural Research 2010 8(2), 377-384 (ISSN: 1695-971-X)*

Their A horizon has pH 6.0 (1:2.5 in water), 33.1 cmol kg<sup>-1</sup> cation exchange capacity, 5.0 mg kg<sup>-1</sup> Bray and Kurtz P and 37.7 g kg<sup>-1</sup> soil organic C contents (Studdert and Echeverria, 2000). Under CT seedbed preparation required harrow disking or chiseling, while under NT it required glyphosate at dose of 2-2.5 l ha<sup>-1</sup> to control weeds about three months before the planting date of each crop. Phosphorus fertilizer was applied at sowing as diamonic phosphate (100-150 kg ha<sup>-1</sup>) and nitrogen as urea was surface broadcasted during crop vegetative. No insecticides were applied in both tillage systems.

### Sampling and fauna analysis

Ten soil monoliths (25.2 cm side; 30 cm depth) were taken in each field following a 50 m long transect with a random direction, according to the Tropical Soil Biology and Fertility Program Method (Anderson and Ingram, 1989). Soils were sampled before wheat (*Triticum aestivum* L.) (July-August) and maize (*Zea mays* L.) (October-November) sowing in 2002, 2003 and 2004. In 2002, four CT and five NT fields were sampled in July-August and two CT and five NT fields were sampled in October-November. In 2003, four fields with every combination of tillage systems and seasons were sampled. In 2004, four CT and NT fields were sampled in July-August and three CT and four NT fields were sampled in October-November.

To separate specimens, the soil was sequentially sieved through two of 10 mm and 2.5 mm screen opening sieves. Stones and large debris were removed by hand from the first screen; and smaller organisms were removed from the second screen. The soil was separated in visually homogeneous 1-4 mm thick layers, from which the specimens (macroarthropods and Annelida: Oligochaeta, Megadrilli and Enchytraeidae) were removed by hand-sorting (Blair *et al.*, 1996). Arthropoda were counted and placed in a 75% alcohol solution and Annelida (Oligochaeta Megadrilli and Enchytraeidae) in 5% formol solution for later observation. Then, the individuals were examined using a stereomicroscope at 160 magnifications to verify species identification.

The percentage of each taxon in the macrofauna in three years of study was determined for each tillage system and season. Density was expressed as the number of individuals per square meter for *Enchytraeidae*, total macrofauna, *Oligochaeta Megadrilli*, *Chilopoda* and *Diplopoda*. Due to the aggregated or contagious disposition of soil organisms, differences in density of each taxa among cropping systems were

analyzed with general linear models assuming a binomial negative distribution, canonical link function and linear predictor in function of cropping system effect (McCullagh and Nelder, 1989).

### **Results**

In general terms, specimens corresponding to the Annelida and Arthropoda phyla were found. During July-August 2002, 2003 and 2004, 5418 individuals were collected and 55.2% of the population was composed by annelids. During October-November, 8046 individuals were counted of which 58.7% were annelids.

Two phyla were found in the macrofauna community: Annelida and Arthropoda (Table CII.1). In both seasons and tillage systems the same taxa composition was observed within these phyla. The Arthropoda were the most abundant individuals (>63%) in both tillage systems, and among Arthropoda the Insecta, ranged 38-50.1% under NT and 47.1-60.2% under CT in both seasons and years. This class was essentially composed of Hymenoptera, Coleoptera (Carabidae, Staphylinidae, Scarabaeidae and Curculionidae) and Diptera. Coleoptera herbivores (Scarabaeidae and Curculionidae principally) were more abundant in CT than in NT, whereas Coleoptera predators density (Carabidae and Staphylinidae) were similar between seasons and tillage systems. In "Others" were included additional insects order such as Lepidoptera, Coleoptera: Chrysomelidae larvae and Orthoptera and Hemiptera: Heteroptera nymphs and adults. On the other hand, Chilopoda (centipedes) and Diplopoda (millipedes) represented 4.6 to 15.4% and 6.6 to 20.3%, respectively and Arachnida (spiders) showed the smallest percentages (Table CII.1).

**Table CII.1. Number of individuals per square meter of each macrofauna taxa in July-August and October-November under conventional (CT) and no-tillage (NT). \*In parentheses, percentage of the collected taxa during years 2002, 2003 and 2004**

Phylum	Class	Order/Family	July-August		October-November		
			CT	NT	CT	NT	
Annelida	Oligochaeta		80.0 (32.0)	69.5 (24.3)	95.1 (19.2)	136.2 (37.0)	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera					
		<i>Scarabaeidae</i>	10.3 (4.1)	6.0 (2.1)	43.1 (8.7)	16.6 (4.5)	
		<i>Elateridae</i>	0.5 (0.2)	1.1 (0.4)	2.0 (0.4)	0.9 (0.3)	
		<i>Curculionidae</i>	16.3 (6.5)	6.9 (2.4)	15.8 (3.2)	1.1 (0.3)	
		<i>Carabidae</i>	8.8 (3.5)	10.0 (3.5)	12.9 (2.6)	12.3 (3.3)	
		<i>Staphylinidae</i>	9.8 (3.9)	7.7 (2.7)	6.4 (1.3)	8.0 (2.2)	
		Diptera	17.5 (7.0)	24.5 (8.5)	73.3 (14.8)	10.0 (2.7)	
		Hymenoptera					
		<i>Formicidae</i>	19.2 (7.7)	44.2 (15.4)	72.9 (14.7)	37.8 (10.3)	
		Others	35.2 (14.1)	42.9 (15.0)	71.6 (14.5)	53.5 (14.5)	
		Chilopoda	Geophilomorpha and Scolopendromorpha	15.7 (6.3)	13.2 (4.6)	65.8 (13.3)	56.9 (15.4)
		Diplopoda	Juliformia	34.7 (13.9)	58.0 (20.3)	32.7 (6.6)	30.8 (8.4)
		Arachnida	Araneae	1.7 (0.7)	2.2 (0.8)	3.6 (0.7)	4.3 (1.2)

In July-August 2002 and 2004, soil macrofauna did not differ between tillage systems ( $P=0.5004$  and  $0.4552$ , respectively) (Fig. CII.1a). In contrast, in 2003 the macrofauna population was more abundant under NT compared to CT ( $P=0.0385$ ), averaging 517 and 373.5 individuals  $m^{-2}$ , respectively (Fig. CII.1a). In October-November, tillage systems did not affect the macrofauna population density ( $P=0.4945$ ,  $P=0.2823$  and  $P=0.1246$ , in 2002, 2003 and 2004, respectively) (Fig. CII.1a).

In general, Oligochaeta Megadrilli density was not affected by tillage systems ( $P>0.05$ ). In July-August of 2004 their density was very low under NT, 22.0 individuals  $m^{-2}$  and differed significantly compared to CT that was 75.5 individuals  $m^{-2}$  ( $P=0.0002$ ) (Fig. 1b.CII).

The Chilopoda were relatively more abundant in NT than CT, but only in October-November of 2002 significant differences were found ( $P=0.0070$ ). Furthermore, in July-August of 2003 the density of those individuals was higher in CT ( $P=0.0109$ ) (Fig. CII.1c).

On the other hand, the density of Diplopoda, a detritivore group, was similar in both tillage systems and seasons, although significant differences were found before wheat planting in 2004, where more individuals were found in NT system ( $P=0.0010$ ) (Fig. CII.1d). The Enchytraeidae, another detritivore group, was the only one belonging

to the mesofauna. Their density in July-August of 3 years sampled was always significantly higher under CT than under NT ( $P < 0.05$ ) (Fig. CII.1e). However, tillage effects were not consistent for these organisms in October-November of 3 years sampled. The population density was higher under NT than under CT ( $P < 0.0001$ ) in 2003, while no significant differences were found between tillage systems ( $P = 0.3158$ ) in 2004 (Fig. CII.1e).

### Discussion

No till systems are believed to be less aggressive to soil fauna (Paoletti, 1999; Kladivko, 2001), thus promoting a greater soil fauna density and biodiversity (Rios de Saluso and Frana, 1998; Marasas *et al.*, 2001; Blanchart *et al.*, 2006; Brévault *et al.*, 2007). Large organisms in general appear to be more sensitive to tillage operations than smaller organisms, due to the physical disruption of the soil, burial of crop residue, and the change in soil water and temperature resulting from residue incorporation (Kladivko, 2001). Nevertheless, results here obtained show tillage system not to have significant impact on soil macrofauna density. According to Wardle (1995), the response of bigger organisms to tillage is less predictable than those of smaller organisms. This may be related to variation in the timing of field operation, as well as the degree of physical disturbance and litter burial in different studies. The lack of significant differences between tillage systems here observed could be due to tillage practices that were not enough aggressive or to the presence of similar food (organic matter) for organisms to develop under both systems (Dominguez *et al.*, 2004).

The macrofauna community was represented by Annelida and Arthropoda, being the Insecta the most abundant class within the Arthropoda. This observation agrees with results found by other authors, such as Brévault *et al.* (2007). They found that Arthropoda were predominant (92.7%) in the invertebrate community in soils under CT and NT systems, and the Insecta was the most numerous and diverse class within the Arthropoda phylum.

Results from this study show a relative abundance of invertebrates in the macrofauna community. Likewise, Fragoso and Lavelle (1992) also observed that the Oligochaeta Megadrilli, Coleoptera and Diplopoda were the most abundant taxa. Similar results were found by Ríos de Saluso *et al.* (2001), with the difference that Diplopoda was more numerous than Coleoptera. The Oligochaeta Megadrilli,  
*Publicado en Spanish Journal of Agricultural Research 2010 8(2), 377-384 (ISSN: 1695-971-X)*

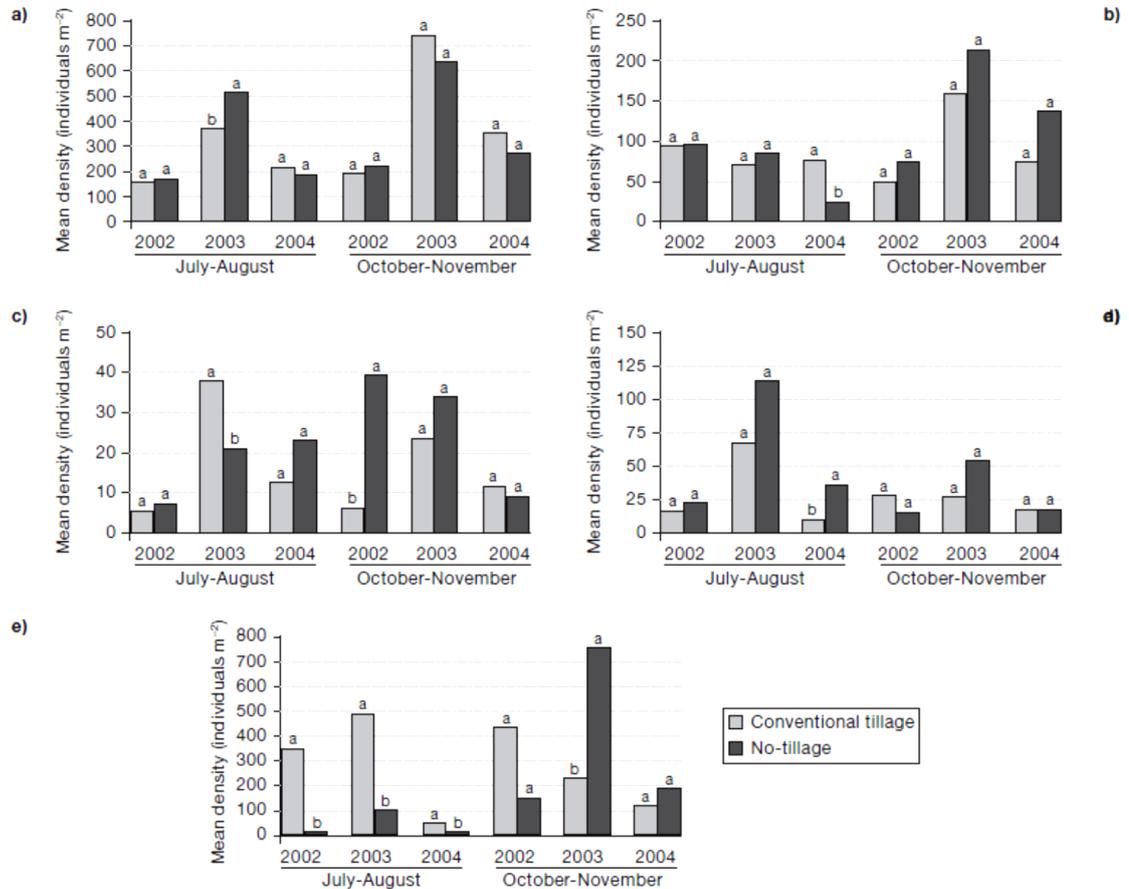
Coleoptera, Diplopoda and Hymenoptera were relatively more abundant among the macrofauna taxa. In addition Jordan *et al.* (1997) found higher number of earthworms in NT compared to chisel-disk plots. In our study *Oligochaeta Megadrilli* density was not affected by tillage. Momo *et al.* (1993) concluded that the absence of earthworms was related to intensive agricultural practices, and Reeleder *et al.* (2006) reported that earthworm density was greater under NT systems while tillage reduced their populations. Furthermore, Edwards and Lofty (1982) stated that tillage practices decrease *Oligochaeta Megadrilli* density due to physical injury, reduction in soil moisture and by exposure to predatory birds. Kladvko *et al.* (1997) observed that in production farms a reduction in tillage intensity encourages earthworm populations. In the southeastern of Buenos Aires Province, Clemente *et al.* (2003), observed a lower density of those individuals (225 individuals m<sup>-2</sup>) in CT systems as compared to non tilled systems like high input pasture, low input pasture and natural pasture (1668, 572 and 418 individuals m<sup>-2</sup>, respectively). Kladvko (2001) summarized that in systems with intermediate levels of soil disturbance and surface residue usually have populations intermediate between moldboard plowing and NT systems. In NT systems, the residues on the soil surface are available as food supply to the *Oligochaeta Megadrilli* for a longer period of time than if the residues are incorporated with a tillage implement. It is probable that our studied CT systems have only intermediate levels of soil disturbance, thus causing *Oligochaeta Megadrilli* population not to be affected. In Paraná, Brazil, *Oligochaeta Megadrilli* density was found to be higher under NT than CT in the rainy summer season, but not in the dry winter season (Brown *et al.*, 2003). In the rainy season, *Oligochaeta Megadrilli* density was positively related to the number of years under NT. In the study area, southeastern Buenos Aires Province, there are not contrasting dry and rainy seasons, so that both sampling periods behaved similarly. López-Fando and Bello Pérez (1997) suggested that, even though earthworm activity increases with the greater soil water content under NT, compacted NT soils can reduce soil oxygen levels and negatively impact earthworm activity.

A greater Diplopoda density was found under NT than CT. These organisms are more abundant in NT systems because they find food and shelter (Wolters and Eksschmitt, 1997). Our results partially agree with those of Brévault *et al.* (2007) and

Ríos de Saluso *et al.* (2001), who observed a greater Diplopoda density in fields under NT for 4 to 5 years.

In coincidence with several authors (Baquero *et al.* 2003; López *et al.* 2005; Gizzi *et al.* 2009), Enchytraeidae were here also found in higher percentages in CT soils. Tillage incorporates and accumulates organic residues at a greater depth than NT, enabling a more widespread growth and development of these organisms (Lägerlof *et al.*, 1989). In addition, tillage practices improve growth of Enchytraeidae, because such practices produce a favorable pore distribution and higher pore space in the soil (Lägerlof *et al.*, 1989). Enchytraeidae live within aggregates and are not affected by the disturbance caused by tillage implements. Also, residue incorporation leads to more bacterial growth and hence increased abundance of bacterial-feeding organism such as Enchytraeidae (Gupta and Yeates, 1998).

The adoption of NT system in southeastern Buenos Aires Province increased some groups of organisms like slugs and pill bugs in some fields, which became pests in crops, (Fabero *et al.*, 2006; Clemente *et al.*, 2008; Salvio *et al.*, 2008; Fabero *et al.*, 2009). In a recent works Diovisalvi *et al.* (2008) and Dominguez *et al.* (2009) determined that there are slightly changes in some properties of the soil related to the soils sustainability between CT and NT. It can be then concluded that in the study region tillage systems only caused slight effects on soil macrofauna while some effects on the Enchytraeidae populations. Soil fauna should be monitored frequently in order to detect trends to negative changes, such as appearance of fauna pest, and therefore take management decisions to correct them.



**Figure CII.1. Number of macrofauna individuals (a), Oligochaeta Megadrilli (b), Chilopoda (c), Diplopoda (d) and Enchytraeidae (e) per square meter in July-August and October-November under conventional and no-tillage cropping systems in 2002, 2003 and 2004. Bars within a year and in the same season sampling with the same letter over them do not differ significantly ( $P > 0.05$ ).**

### Acknowledgements

This work was financially supported by a project N°ARG 142/02 Universidad Nacional de Mar del Plata and a project N° 525102 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

### References

- ANDERSON, J.M. y J.S.I. INGRAM. 1989. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods, 2<sup>nd</sup> ed. CAB Intl, Wallingford, UK. pp. 44-46.
- BAQUERO, V.G., LÓPEZ, A.N., VINCINI, A.M., ALVAREZ CASTILLO, H.A., CARMONA, D.M., y P.L. MANETTI. 2003. La mesofauna en diferentes sistemas de producción. Los enquitreidos como indicadores del grado de disturbio. Ciencia y

Tecnología Serie Científica 8, 65-73.

- BLAIR, J.M., BOHLEN, P.J. y D.W. FRECKMAN. 1996. Soil invertebrates as indicators of soil quality. In: Methods for assessing soil quality (Doran J.W., Jones A.J., eds). SSSA Spec. Public. 49. Soil Sci Soc Am, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp. 273-291.
- BLANCHART, E., VILLENAVE, C., VIALLATOUX, A., BARTHÈS, B., GIRARDIN, C., AZONTONDE, A. y C. FELLER. 2006. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. utilis) on the communities of soil macrofauna and nematofauna under maize cultivation in southern Benin. Eur J Soil Biol 42, 136-144.
- BRÉVAULT, T., BIKAY, S., MALDÈS, J.M. y K. NAUDIN. 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. Soil Till Res 97, 140-149.
- BROWN, G.G., BENITO, N.P., PASINI, A., SAUTTER, K.D., GUIMARÃES, M.F. y E. TORRES. 2003. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná state, Brazil. Pedobiol 47, 764-771.
- CLEMENTE, N.L., LÓPEZ, A.N., VINCINI, A.M., ÁLVAREZ CASTILLO, H.A., CARMONA, D.M., MANETTI, P.L. y S. SAN MARTINO. 2003. Abundancia de megadrilos (Annelida: Oligochaeta) en diferentes sistemas de producción. Ci Suelo 21 (2), 35-43.
- CLEMENTE, N.L., LÓPEZ, A.N., MONTERUBBIANESI, M.G., CAZZANIGA, N.J. y P.L. MANETTI. 2008. Biological studies and phenology of the slug *Deroceras reticulatum* (Müller, 1774) (Pulmonata: Stylommatophora). Invertebr Repr Dev 52, 23-30.
- DIOVISALVI, N.V., STUDDERT, G.A., DOMINGUEZ, G. y M.J. EIZA. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. Ci Suelo 26 (1), 1-11.
- DOMÍNGUEZ, G.F., STUDDERT, G.A., ECHEVERRÍA, H.E. y G. LORENZO. 2004. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la materia orgánica total y particulada en un Molisol de Balcarce. Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina, Jun 22-24. [CD rom].
- DOMÍNGUEZ, G., DIOVISALVI, N.V., STUDDERT, G.A. y M.G.  
*Publicado en Spanish Journal of Agricultural Research 2010 8(2), 377-384 (ISSN: 1695-971-X)*

- MONTERUBBIANESI. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till Res* 102 (1), 93-100.
- EDWARDS, C.A. y J.R. LOFTY. 1982. Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. *Soil Biol Biochem* 14, 515-521.
- FABERI, A.J., LÓPEZ, A.N., MANETTI, P.L., CLEMENTE, N.L. y H.A. ÁLVAREZ CASTILLO. 2006. Growth and reproduction of the slug *Deroceras laeve* (Müller) (Pulmonata: Stylommatophora) under controlled conditions. *Spa J Agric Res* 4 (4), 345-350.
- FABERI, A.J., LÓPEZ, A.N., STUDDERT, G.A., CLEMENTE, N.L. y P.L. MANETTI. 2009. ¿Pueden los residuos vegetales afectar el crecimiento y supervivencia de *Armadillidium vulgare* (Crustacea: Isopoda)? Estado de arte y perspectivas en una especie plaga. XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Santiago del Estero, Argentina, Sept-Oct 30-2. 3 pp.
- FERERES CASTIEL, A. 1998. Control de insectos-plaga en el laboreo de conservación. In: Agricultura de conservación: fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos (García Torres L., González Fernández P., eds). Asociación Española Laboreo de Conservación/ Suelos Vivos. Spain. pp. 143-155.
- FRAGOSO, C. y P. LAVELLE. 1992. Earthworm communities of tropical rain forest. *Soil Biol Biochem* 24, 1397-1408.
- GIZZI, A.H., ÁLVAREZ CASTILLO, H.A., MANETTI, P.L., LÓPEZ, A.N., N.L. CLEMENTE y G.A. STUDDERT. 2009. Caracterización de la meso y macrofauna edáfica en sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. *Ci Suelo* 27 (1). 1-9.
- GUPTA, V.V.S.R., YEATES G.W. 1998. Soil microfauna as bioindicators of soil health. In: Biological indicators of soil health (Pankhurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R., eds), CAB Publ, UK. pp. 201-233.
- JORDAN, D., STECKER, J.A., CACNIO-HUBBARD, V.N., GANTZER, F.L.C.J. Y J.R. BROWN. 1997. Earthworm activity in no-tillage and conventional tillage systems in Missouri soils: A preliminary study. *Soil Biol Biochem* 29, 489-491.
- KLADIVKO, E.J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Till Res* 61, 61-76.
- KLADIVKO, E.J., AKHOURI N.M. y G. WEESIERS. 1997. Earthworm population and species distribution under no till and conventional tillage in Indiana and Illinois. Publicado en Spanish Journal of Agricultural Research 2010 8(2), 377-384 (ISSN: 1695-971-X)

- Soil Biol Biochem 29, 613-615.
- LAGERLÖF J., ANDRÉN, O. y K. PAUSTIAN. 1989. Dynamics and contribution to carbon flows of Enchytraeidae (Oligochaeta) under four cropping systems. *J Appl Ecol* 26, 183-199.
- LAL, R., REICOSKY, D.C. y J.D. HANSON. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Till Res* 93, 1-12.
- LEE K.E. y R. FOSTER R.C., 1991. Soil fauna and soil structure. *Aust J Res* 29 (6), 745-775.
- LINDEN, D.R., HENDRIX, P.F., COLEMAN, D.C. y P.C.J. VAN VLIET. 1994. Faunal indicators of soil quality. In: *Defining soil quality for a sustainable environment* (Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicsek D.F. Stewart B.A., eds). SSSA Special Publication 35, 91-106.
- LÓPEZ, A.N., VINCINI A.M., CLEMENTE, N.L., MANETTI, P.L., CARMONA, D.M. y H.A. ÁLVAREZ CASTILLO. 2005. Densidad estacional y distribución vertical de los Enchytraeidae (Annelida: Oligochaeta) en diferentes sistemas de producción. *Ci Suelo* 23 (2), 115-121.
- LÓPEZ-FANDO, C. y A. BELLO PÉREZ. 1997. Efecto de los sistemas de laboreo en la biología del suelo. In: *Agricultura de conservación: fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos* (García Torres L., González Fernández P., eds). Asoc Española Laboreo de Conservación/ Suelos Vivos, Spain. pp. 201-223.
- MANUEL-NAVARRETE, D., GALLOPÍN G., BLANCO M., DÍAZ-ZORITA M., FERRARO D., HERZER H., LATERRA P., MORELLO J., MURMIS M.R., PENGUE W. *et al.*, 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo. Naciones Unidas. Santiago de Chile. 65 pp.
- MARASAS, M.E., SARANDÓN, S.J. y A. CICCHINO. 2001. Changes in soil arthropod functional group in a wheat crop under conventional and no tillage systems in Argentina. *Appl Soil Ecol* 18, 61-68.
- MCCULLAGH, P. y J.A. NELDER. 1989. *Generalized linear models*. Chapman and Hall, eds. Cambridge, UK, 541 pp.

- MICCUCI, F. y M.A. TABOADA. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Till Res* 86, 152-162.
- MOMO, F.R., GIOVANETTI C.M. y L. MALACALZA L. 1993. Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) y algunos parámetros fisicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. *Ecología Austral* 3, 7-14.
- PANKHURST, C.E., DOUBE B.M. y V.V.S.R. GUPTA. 1997. Synthesis. In: *Biological indicators of soil health* (Pankhurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R., eds). CAB Publ, UK. pp. 419-435.
- PAOLETTI, M.G. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agric Ecosyst Environ* 74, 137-155.
- REELEDER, R.D., MILLER, J.J., BALL COELHO, B.R. y R.C. ROY. 2006. Impacts of tillage, cover crop, and nitrogen on populations of earthworms, microarthropods, and soil fungi in a cultivated fragile soil. *Appl Soil Ecol* 33, 243–257.
- RÍOS DE SALUSO, M.L.A. y J.E. FRANA. 1998. Entomofauna en relación a la siembra directa. In: *Siembra directa* (Panigatti J., Marelli H., Buschiazzo D., Gil R., eds). Ediciones INTA, Argentina. pp. 319-328.
- RÍOS DE SALUSO, M.L.A., SALUSO, A., PAPAROTTI O. y C. DEBONA. 2001. Asociación entre la macrofauna del suelo y la siembra directa en el oeste de Entre Ríos. In: *Siembra directa II* (Panigatti J., Buschiazzo D. and Marelli H., eds). Ediciones INTA, Argentina. pp. 83-95.
- SALVIO, C., FABERI, A.J., LÓPEZ, A.N., MANETTI, P.L. y N.L. CLEMENTE. 2008. The efficacy of three metaldehyde pellets marketed in Argentina, on the control of *Deroceras reticulatum* (Müller) (Pulmonata: Stylommatophora). *Span J Agric Res* 6(1), 70-77.
- STINNER, B.R. y G.J. HOUSE. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation -tillage agriculture. *Ann Rev Entomol* 35, 299-318.
- STUDDERT, G.A. 2003. “Sojización”, ¿un riesgo para los suelos del S.E. bonaerense? *Actas 20º Jornada de Actualización Profesional sobre Cosecha Gruesa*. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. 19 de septiembre. pp. 94-103.

- STUDDERT, G.A. y H.E. ECHEVERRÍA. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci Soc Am J* 64, 1496-1503.
- WALLWORK, J.A. 1976. The distribution and diversity of soil fauna. Academic Press, London. 355 pp.
- WARDLE, D.A. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. In: *Advances in ecological research* (Begon M., Fitter A.H., eds). Academic Press, NY, USA. pp. 105-185.
- WOLTERS, V. y K. EKSCHMITT. 1997. Gastropods, Isopods, Diplopos, Chilopods: neglected groups of the decomposer food web. In: *Fauna in soil ecosystems. Recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production* (Benckiser G., ed). Marcel Dekker, Inc. NY, USA. pp. 265-306.
- VAN VLIET, P.C.J., WEST L.T., HENDRIX P.F. y D.C. COLEMAN. 1993. The influence of Enchytraeidae (Oligochaeta) in different agricultural systems. *Biol Fer Soils* 25(2), 123-

# **6. CAPÍTULO III**

## 6. Capítulo III

### MACROFAUNA ACTIVITY IN CONTRASTING SYSTEMS IN BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

**Pablo L. Manetti, Ariel J. Faberi, Natalia L. Clemente, and Alicia N. López**

*Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Nacional de Mar del Plata– Estación Experimental Agropecuaria, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (UIB), C.C. 276 (7620), Balcarce, Argentina.*

#### Abstract

In Argentina, two tillage systems are used, conventional tillage (CT) and no-till (NT). The aim was to determine the ground-dwelling macrofauna taxa and compare the impacts of both NT and CT on their activity density. Samples were taken within wheat (*Triticum aestivum* L.) (August–December) and maize (*Zea mays* L.) (November–April) crop fields under CT and NT during three cropping seasons (Cycles 1, 2 and 3). Ten pitfall traps 10 m apart were placed in each field. Traps were collected every 15 d throughout the crop cycles to determine activity density (individuals plot<sup>-1</sup>) of soil macrofauna. Invertebrates were counted and identified to the class level; Insecta were further identified to order, family, or species levels. Higher mean total macrofauna activity density was found under NT than CT for Cycle 1 in wheat and Cycles 1 and 3 in maize. Arachnida activity density was higher under NT than CT in only a few crop cycles. Carabidae showed no preference for any tillage system. Orthoptera showed more activity density under NT than CT. The activity density of the Lepidoptera and Hymenoptera specimens were higher under CT than NT in some wheat and maize seasons. Diplopoda and Crustacea had higher activity density under NT than CT. In conclusion, the total activity density was consistently greater under NT, but there were differences within taxonomic groups.

Abbreviations: CT, conventional tillage; NT, no-till.

#### Introduction

Soil macrofauna includes a highly diverse assemblage of organisms that can be both epigeic (the ground-dwelling soil fauna) and endogeic (the belowground soil fauna) species (Hendrix *et al.*, 1990; Marasas, 2002). It is well known that these organisms play an

important role in the improvement and maintenance of soil quality and for this reason are considered in studies of sustainability (Hendrix *et al.*, 1990; Stinner and House, 1990). Soil quality can be defined as the “biological balance needed to ensure that soil maintains its potentiality” (Marasas, 2002). This can be achieved, partly, through the activity, abundance, and biodiversity of macrofauna. The activity of macrofauna promotes humification and mineralization of organic matter and enhances mixing and macroporosity. Therefore the soil chemical and physical properties (e.g., soil structure, soil nutrient availability) are improved (Hendrix *et al.*, 1990; Stinner and House, 1990; Lavelle *et al.*, 1997; Wolters and Ekschmitt, 1997; Kladivko *et al.*, 2001; Marasas, 2002; Brévault *et al.*, 2007). Macrofauna diversity promotes an appropriate balance between beneficial predators and plant pests (Marasas *et al.*, 2001; Tillman *et al.*, 2004).

An agroecosystem must maintain soil quality to sustain the production of food and fiber (Lobry de Bruyn, 1997). In Argentina, soil quality has been affected by the continuous use of that resource since 1980, with the shift from mixed systems (agriculture and cattle farming) to exclusively agricultural systems (Studdert, 2003; Manuel-Navarrete *et al.*, 2005; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2009). Intense use of CT practices accelerates soil erosion and other degradation processes through its impact on the physical, chemical, and biological factors related to soil quality. In this sense, NT was adopted as an alternative to conventional practices to protect and recover soil quality (Studdert and Echeverría, 2000; Micucci and Taboada, 2006; Lal *et al.*, 2007). No-till leaves organic mulch on the soil surface, which reduces runoff, increases soil organic matter, and improves aggregate stability, thereby limiting soil erosion (Beare *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 1996; Creus *et al.*, 1998; García-Préchac *et al.*, 2004; Fabrizzi *et al.*, 2005; Lal *et al.*, 2007; Hobbs *et al.*, 2008).

The introduction of NT in Argentina, as a tillage practice, demonstrated its ability to restore those properties related to soil quality (Gil and Garay, 2001; Morras *et al.*, 2001; Alvarez and Steinbach, 2009). Nevertheless, according to Lietti *et al.* (2008), there are few studies that have focused on the impacts of tillage system on macrofauna. In general, these two contrasting tillage systems generate different conditions for soil fauna. No-till is considered a more stable environment for most organisms because the litter layer reduces temperature and moisture extremes and provides food and shelter for them (Stinner and House, 1990; Dominguez *et al.*, 2005). On the other hand, soil disturbance under CT has

direct and indirect effects on macrofauna. Direct effects are related to injury or mortality of individuals, and indirect effects are related to habitat destruction (Wallwork, 1976; House and Parmelee, 1985; Hendrix *et al.*, 1990; Stinner and House, 1990; Holland and Reynolds, 2003; Roger-Estrade *et al.*, 2010; Errouissi *et al.*, 2011).

Extensive research has indicated that a higher abundance and biodiversity is expected under NT than CT practices (Lobry de Bruyn, 1997; Marasas *et al.*, 1997; Rodríguez *et al.*, 2006; Brussaard *et al.*, 2007; Errouissi *et al.*, 2011). Ultimately, the macrofauna population evaluation depends on several factors generally related to sampling methods and conditions at the study area, such as the life cycle stage of the organisms, the crop type, and climatic conditions (Holland, 2004). Other factors are more specific: for C,T it is important to consider the degree or level of physical disturbance and the timing of tillage operations and, for NT, the disposal and management of crop residues and pesticide use (Holland and Luff, 2000; Kladivko, 2001; Lietti *et al.*, 2008).

For these reasons it is important to know if there are differences in macrofaunal populations between the two contrasting tillage systems in the area under study in Argentina. Large differences have indicated that tillage systems affect these populations, which would indicate a degradation of soil quality. Nevertheless, different results in macrofauna population are obtained if different sampling methods are used (Spence and Niemela, 1994; Lietti *et al.*, 2008; Errouissi *et al.*, 2011). A method used for macrofauna sampling considers the “activity density” of the aboveground soil macrofauna. Activity density can be defined as the catch rate per trap, and it considers the absolute density and the locomotor activity of individual members of the macrofauna (Lietti *et al.*, 2008). According to Spence and Niemela (1994), activity density can be more important than the absolute density for the assessment of resource use. Taking into account these considerations, the objective of this work was to determine the ground-dwelling macrofauna taxa and compare the impacts of both NT and CT on their activity density.

## **Materials and methods**

### **Study Area and Systems Management**

The present study is a continuation of research (Manetti *et al.*, 2010) conducted to evaluate the influence of CT and NT on soil fauna in two traditional crops, wheat and maize, in Balcarce, Buenos Aires, Argentina. The climate in this area is mesothermal, humid to subhumid (according to the Thornthwaite classification) or temperate humid without a dry

season (according to the Köppen classification). The mean annual temperature is 13°C and the mean annual rainfall is 928 mm (average for 1970–2000); 80% of the rainfall occurs during spring and summer. The mean annual temperature was 14.1°C in 2002 and 2003 and 14.5°C in 2004. The mean annual rainfall was 1342, 1130, and 788 mm in 2002, 2003, and 2004, respectively.

Land is mainly devoted to extensive crop production; the soil was developed under grass vegetation and eolic sediments (loess) that were transported during the Quaternary period and are rich in calcareous materials. The soil of the sampling sites is a complex of Mar del Plata series (fine, mixed, thermic Typic Argiudoll) and Balcarce series (fine, illitic, thermic Petrocalcic Paleudolls) (U.S. classification), and it has similar geomorphological characteristics (116–160 m asl and 0.5–2.5% slope). Both soil types have similar properties in the surface horizon (0–20 cm). The A horizon has a pH of 6.0 (1:2.5 in water), 33.1 cmol kg<sup>-1</sup> cation exchange capacity, 5.0 mg kg<sup>-1</sup> Bray and Kurtz P, and 37.7 g kg<sup>-1</sup> soil organic C contents (Studdert and Echeverría, 2000). Under CT, seedbed preparation required harrow disking or chiseling. Under NT it required glyphosate [N-(phosphonomethyl)glycine] at a dose of 960 to 1200 g a.i. ha<sup>-1</sup> to control weeds about 3 mo before the planting date of each crop; the soil was opened just to place seeds at the appropriate depth using a no-till drill. Phosphorus fertilizer was applied at sowing as diammonium phosphate (100–150 kg ha<sup>-1</sup>). Nitrogen was applied as urea and was broadcast on the soil surface during the crop vegetative phase at rates according to crop in both tillage system (60 and 80 kg ha<sup>-1</sup> for wheat, 80 and 100 kg ha<sup>-1</sup> for maize under CT and NT, respectively). No insecticides were applied in either tillage system.

#### Sampling and Fauna Analysis

Samples were taken in the same agricultural fields under production used by Manetti *et al.* (2010). These fields were located within 30 km of the Balcarce Agricultural Experimental Station of the National Institute of Agricultural Technology (37°45'45" S, 58°18'3" W). Samples were taken within wheat and maize crop fields under CT and NT in 2002, 2003, and 2004 cropping seasons (sowing to harvest), hereafter referred to as Cycles 1, 2 and 3, respectively. During these cropping seasons, a total of 48 arable fields (plots) were sampled as follows. In Cycle 1 of the wheat crop, four and five plots were sampled in CT and NT, respectively, while four plots were sampled in each tillage system in Cycles 2 and 3 of this crop. In Cycle 1 of maize crop, two and five plots were sampled in CT and NT,

respectively. Four plots in each tillage system were sampled in Cycles 2 and 3 of the maize crop. Different plots were selected throughout the cropping seasons. The plots had an area of 30 to 50 ha and NT had been used on the NT plots for at least 5 yr.

To collect arthropods, 10 pitfall traps were placed 10 m apart in a line in the center of each plot to avoid border effects. Each trap was composed of two containers: a permanent container and a removable container. The permanent container was a bowl (9-cm-diameter bottom, 11-cm-diameter top and 11 cm deep) buried to its rim in the soil and with holes in the bottom to allow drainage of rainwater. The removable container was a bowl (the same size) filled to one-third with 4% formaldehyde solution. Pitfall traps were retrieved approximately every 15 d throughout the three wheat (August–December) and maize (November–April) cropping seasons. At each sample date, the traps were emptied and conditioned as needed throughout every season. A total of 2010 and 1900 pitfall traps (systems x plots x sample dates x number of traps per plot) were placed in the wheat and maize crops, respectively, during the study.

At each sampling date, the contents of each trap were collected and processed at the laboratory. The soil invertebrate macrofauna specimens, i.e., organisms >10 mm in length and/or with a body diameter >2 mm, were extracted and stored in a 70% alcohol solution. The identification and counting of the organisms were performed in the laboratory with a stereoscopic microscope. All captured Arthropoda individuals were determined at the class level and Insecta at the order, family, or species level. All organisms were assigned to general feeding guilds, including predators, herbivores, and detritivores.

The specimens collected and identified from the 10 traps in each plot and sample date were considered as a single unit for the data analysis. The mean number of individuals captured per plot on each sample date was evaluated as a measure of the catch rate, i.e., the activity density of the surface-living invertebrates (Thiele, 1977; Baars, 1979).

The activity density (individuals plot<sup>-1</sup>) of each taxon were analyzed with generalized linear models for each cycle and crop combination. Due to the very large variance, heterogeneities, and overdispersion in the errors, activity density was modeled using the negative binomial distribution, canonical link function, and linear predictor in function for cropping system, date, and interaction effects (McCullagh and Nelder, 1989). When the interaction effect was significant, the activity density of the cropping systems within each date was explored using a Bonferroni adjusted comparison. All analyses were

performed using the SAS Genmod procedure (SAS Institute, 2001).

## Results

The analyzed samples from all traps in the two crops for both tillage systems and in the three crop cycles resulted in the identification of 121,645 individuals (87,619 in wheat and 34,026 in maize). The two phyla found were Arthropoda and Mollusca. The great majority of individuals were Arthropoda, with >94.5% of the total number captured per plot.

In the wheat crops, a higher mean of individuals per plot was found under the NT system than the CT system in Cycle 3 only ( $P < 0.01$ ) (Fig. CIII.1). In Cycle 1, interaction effects (cropping system  $\times$  sample date) were observed ( $P < 0.001$ ), indicating that the activity of macroarthropods varied with time between tillage systems. The mean activity density was significantly higher under NT (263.2 individuals plot<sup>-1</sup>) than CT (37.0 individuals plot<sup>-1</sup>) in the middle of the wheat crop season, and it was higher under CT (484.3 individuals plot<sup>-1</sup>) than NT (138.4 individuals plot<sup>-1</sup>) at the end of the season (data not shown). In the maize crops, more individuals were captured in NT fields than CT fields in Cycles 1 and 3 ( $P < 0.01$  and  $P < 0.01$ , respectively) (Fig. CIII.1).

Different mean activity densities of the main macroarthropod taxa were observed in relation to tillage system and crop cycle. The most abundant groups in both tillage systems and in different cropping seasons are shown in Table CIII.1. Significantly more Arachnida specimens (i.e., ground-dwelling spiders) were captured under NT than CT in Cycles 1 and 3 of the maize crop ( $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively). The same effect was observed on only some sample dates in Cycles 1 and 3 of the wheat crop, where an interaction effect was detected ( $P < 0.001$  and  $P < 0.05$ , respectively). Diplopoda activity density was higher under NT than CT during the development period of the wheat crop in Cycles 2 and 3 ( $P < 0.001$  and  $P < 0.05$ , respectively) and on some samples dates in Cycle 1 ( $P < 0.01$ ). Crustacea (i.e., the Isopoda *Armadillidium vulgare* Latreille) was the most affected by tillage, with significantly more individuals being captured in NT crops than CT crops in all crop cycles (Table CIII.1) except Cycle 2 of the maize crop ( $P = 0.54$ ). In general, the activity density of the Insecta class was not affected by tillage system ( $P > 0.05$ ) with the exception of Cycle 2 of wheat, where significant differences were found between tillage systems ( $P < 0.01$ ) (Table CIII.1). Additional arthropod classes such as Chilopoda (<3.7 and 3.2% of the total number of individuals per plot in CT and NT, respectively) were found, but no specimens were captured in sufficient numbers for analysis.

Within Insecta, Orthoptera (Acrididae, Gryllidae, and Tettigoniidae adults and nymphs) showed more activity density under NT than CT (Table 1). Acrididae activity density was significantly higher under NT than in CT in the three cropping seasons of both crops (Table CIII.1). Meanwhile, Gryllidae showed the same pattern, but no differences between tillage systems were observed in Cycle 1 of the wheat crop ( $P = 0.86$ ) and Cycle 2 of the maize crop, where an interaction effect was observed ( $P < 0.05$ ).

The most abundant and diverse Insecta order, Coleoptera, showed little variation between tillage systems, and only in Cycle 2 of the wheat crop were significant differences found ( $P < 0.001$ ). The activity density of Carabidae, the most representative Coleoptera family, did not show any patterns according to tillage system (Table CIII.1). It was significantly higher under CT than NT in Cycle 2 of the wheat crop and in Cycle 1 of the maize crop ( $P = 0.004$  and  $P < 0.001$ , respectively), but in Cycle 3 of the wheat crop and Cycle 2 of the maize crop, the Carabidae activity density was significantly higher under NT than CT ( $P < 0.05$  and  $P < 0.05$ , respectively). The activity density of Scarabeidae specimens was similar between tillage systems, and only in Cycle 1 of the maize crop was a higher activity density found under NT than CT ( $P < 0.05$ ) (Table CIII.1). This family was represented mainly by *Diloboderus abderus* Sturm. in maize crops (56–93% of the total number of Scarabeidae individuals per plot), and under the different tillage systems, this species' activity density showed the same relation as the total Scarabeidae activity density. In wheat cycles, *D. abderus* represented a lower proportion of total Scarabeidae activity density, 6 to 25%. Other species were present in higher proportions (e.g., *Aphodius* sp., *Dyscinetus gagates* Burmeister). Staphylinidae showed no preference for any tillage system (Table 1.CIII). Specimens of Elateridae, Curculionidae, Chrysomelidae, Meloidae, Coccinelidae, Lampyridae, and Cantharidae families were found occasionally (each of these families accounted for  $<2.8\%$  of the total number of individuals per plot).

The activity densities of Lepidoptera (i.e., Noctuidae larvae) and Hymenoptera (Formicidae adults) were higher under CT than NT in some cycles of wheat and maize (Table 1). Hemiptera adults and nymphs (Pentatomidae) were found occasionally (0.1–1.2% of the total number of individuals per plot), and no specimens were captured in sufficient numbers for analysis.

## Discussion

As has been reported in different studies (Brévault *et al.*, 2007; Errouissi *et al.*,

2011), Arthropoda was the most abundant group (i.e., individuals per plot), and within Arthropoda, Insecta was the most abundant class in both tillage systems. Under CT, however, this class represented a higher percentage of the total number of individuals per plot than under NT. This result agrees with the results of Manetti *et al.* (2010), who found a higher percentage of insects under CT than NT using soil samples. In contrast, Crustacea and Diplopoda had higher proportions of total individuals captured under NT than CT. According to Wolters and Ekschmitt (1997), these groups are considered the most sensitive to soil cultivation and as a consequence of that they are rare in soil under CT practices. For this reason, these classes were encouraged by NT because on the one hand, crop residues remain available on the soil surface, generating sites for their shelter and alimentation, and on the other hand, the absence of soil removal avoids the direct and indirect effects of tillage.

Contrary to the conclusions of previous work performed under the same conditions (Manetti *et al.*, 2010), the results presented here show that the tillage system exerts an influence on the activity density of macrofauna in some situations. It was higher under NT than CT in some crop cycles, but it was similar in others. Some researchers have provided evidence of the positive contribution of NT to the activity density of macrofauna (Marasas *et al.*, 2001; Carmona *et al.*, 2002; Holland and Reynolds, 2003; Rodríguez *et al.*, 2006; Errouissi *et al.*, 2011), but others found no effect of soil tillage system on the activity density of macrofauna at all (Castro *et al.*, 1996; Rodríguez *et al.*, 2006; Lietti *et al.*, 2008). The variation in the responses found in different studies and inclusive in different crop cycles in the present study can be explained by the climatic conditions. The differences in activity density between tillage systems were observed in those cycles with relatively lower precipitation (339 mm in Cycle 3 of wheat and 334 mm in Cycle 3 of maize). In these situations, NT had an advantage over CT because the NT soil had more stable microclimatic conditions with regard to soil humidity and temperature, favoring the activity of soil macrofauna (Kladivko, 2001; Martins *et al.*, 2009; Errouissi *et al.*, 2011). An exception was observed in Cycle 1 of the maize crop, when relatively high precipitation (589 mm) and significant differences between tillage systems were observed.

Spiders (Arachnida), one of the most abundant predators within arable fields, are considered to be the most sensitive individuals to tillage (Holland and Reynolds, 2003; Kladivko, 2001), and their abundance is favored by the presence of crop residues above the

soil surface (Samu *et al.*, 1999). Taking this into account, a higher activity density of spiders under NT than CT was expected, as was found previously (Pruett and Guamán, 2001; Cividanes, 2002; Holland and Reynolds, 2003; Rodríguez *et al.*, 2006). These findings were true in a limited number of crop cycles in the present study: in two maize cycles and on some sample dates in Cycles 1 and 3 of the wheat crop. In most situations in the present study, no effect of tillage system on the activity density of ground-dwelling spiders was found, which agrees with Castro *et al.* (1996) and Lietti *et al.* (2008) results.

While Manetti *et al.* (2010) found that the detritivore groups Diplopoda and Crustacea (Isopoda) were present in a low proportion in soil samples, in this study they were a high proportion of the total captured individuals and they were affected by the tillage system. In general, these detritivore groups had a higher activity density under NT than CT, consistent with previous results (Hendrix *et al.*, 1986; Wolters and Ekschmitt, 1997; Pruet and Guamán, 2001; Holland, 2004; Lietti *et al.*, 2008; Errouissi *et al.*, 2011). According to Wolters and Ekschmitt (1997), both groups are the taxa most affected by tillage practices due to the fact that they are the most sensitive to drought. Between these two groups, Crustacea, represented by *Armadillidium vulgare* (Crustacea: Isopoda), was the group most affected by tillage system, and its density was several times higher under NT than CT. In Argentina, *Armadillidium vulgare* Latreille (Crustacea: Isopoda) has found an adequate environment for its development and reproduction, and it has become one of the most important pests in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.], sunflower (*Helianthus annuus* L.), and oilseed rape (*Brassica napus* L. ssp. *napus*) crops under NT (Faber *et al.*, 2011). As reported by Brown *et al.* (2001), this represents one of the disadvantages to adopting NT. One of the observations in the Crustacea and Diplopoda classes was that larger ranges of individuals per plot were found. This could be explained by the presence of different microhabitats between and within plots, where they have aggregated distributions (Larsen *et al.*, 2007).

Within the Insecta, Coleoptera had the highest activity density of all and was the most diverse group, agreeing with absolute density measurements (Manetti *et al.*, 2010). Overall, this order was not affected by the tillage system as was observed by Rodríguez *et al.* (2006). An exception was observed in Cycle 1 of the wheat crop, where an interaction effect was found, and in Cycle 2 of the wheat crop, where the activity density was lower under NT than CT. Errouissi *et al.* (2011) found that Coleoptera activity density was higher

under NT than CT in only one study, but it was similar in the other. In general, individuals of the Coleoptera class are known to have heterogeneous distributions, and consequently their abundance differs within fields, among fields, and among years (Holland and Reynolds, 2003); therefore, differences between studies are to be expected.

Carabidae, the most important predator in agricultural fields, was the best represented family of all Coleoptera individuals captured, as is cited in the literature (Marasas *et al.*, 2001; Marasas, 2002; Holland and Reynolds, 2003; Lietti *et al.*, 2008; Errouissi *et al.*, 2011). The general consensus from the literature is that the activity density of Carabidae increases when NT is adopted instead of CT (Stinner and House, 1990; Robertson *et al.*, 1994; Andersen, 1999; Holland and Luff, 2000; Kladivko, 2001; Cividanes, 2002; Marasas *et al.*, 2001; Marasas, 2002; Holland and Reynolds, 2003; Errouissi *et al.*, 2011). In the present study, Carabidae reacted differently to tillage systems in different crop cycles in consonance with Cividanes (2002). In exploratory experiments in the southeast of Buenos Aires province, Argentina, Carmona *et al.* (2002, 2004) found a greater Carabidae activity density under NT than CT, coinciding with some aspects of the present study. Lietti *et al.* (2008) indicated three possible reasons why CT reduces Carabidae abundance: first, the mortality of individuals; second, the disruption of overwintering sites; and lastly, the decrease in the availability of prey. Nevertheless, they together with Menalled *et al.* (2007) found that the activity density of Carabidae was lower under NT than CT. Different reasons have been given as to why Carabidae has a higher activity density under CT. Lietti *et al.* (2008) attributed their results to the contribution of larger species such as *Calosoma* spp. and *Scarites anthracinus*, which were the dominant species in both agroecosystems in the present study (Tulli *et al.*, 2009). Menalled *et al.* (2007) and Baguette and Hance (1997) stated that dominant Carabidae adults and larvae have been shown to tolerate cultivation. Others reasons are a probable recolonization of plots under CT from adjacent plots (Marasas *et al.*, 2001) and an increase in the availability of suitable prey. This last reason can explain the higher activity density found in Cycle 2 of the wheat crop because a higher availability of Lepidoptera larvae was observed under CT than NT; similar results were observed by Lietti *et al.* (1993). Carabidae species had different responses to tillage system, and one species can have different reactions under the same tillage system at different sites (Lietti *et al.*, 1993). Apart from Carabidae another important natural enemy of pests was identified: the Staphylinidae. Tillage practices did not affect their abundance, in

agreement with the results obtained by Pruett and Guamán (2001), Cividanes (2002), Andersen (2003), and Holland and Reynolds (2003).

Scarabeidae individuals, a phytophagous group of Coleoptera, were little influenced by tillage regimen at this study site; however, there is evidence that this family is more abundant under NT than CT (Mondino *et al.*, 1998; Gassen, 2001a; Pruett and Guamán, 2001; Lietti *et al.*, 2008; Errouissi *et al.*, 2011). This trend was observed in Cycle 1 of the maize crop in agreement with differences in the activity density of *D. abderus*. This species prefers mulch-based systems, in other words NT, in which to lay their eggs (Gassen, 2001b).

One of the phytophagous taxa most affected by tillage system was Orthoptera, which had higher activity under NT in all crop cycles. Similar results were reported by Aragón (1997), Ves Losada and Baudino (1998), Gassen (2001c), and Lietti *et al.* (2008), who stated that mulch provides a favorable habitat for egg development due to the lack of soil tillage. Under these conditions, populations can increase and they can become crop pests (Aragón, 1997; Gassen 2001c; Torrusio *et al.*, 2005).

The two last phytophagous orders, Lepidoptera (i.e., Noctuidae larvae) and Hymenoptera (i.e., Formicidae adults) had a similar response to tillage system, which was higher activity density under CT than NT in some crop cycles. On the one hand, these results are in line with those published (Lepidoptera: Pruett and Guamán, 2001; Formicidae: Gassen, 2001c) where their populations were depressed under NT. On the other hand, other researchers found that Lepidoptera (Aragón, 1997) and Formicidae (Aragón, 1997; Errouissi *et al.*, 2011) had better conditions under NT.

As was stated above, Manetti *et al.* (2010) sampled the belowground soil macrofauna to estimate the density (i.e., individuals  $m^{-2}$ ) at the same sites and under the same study conditions as the present study. They evaluated some of the same taxa found in the current study (i.e., Arachnida, Diplopoda, Coleoptera families, Orthoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, and Hemiptera: Heteroptera); however, they found no differences in absolute densities of these taxa between tillage systems. Similar absolute densities does not mean that organism function was not affected. Therefore, in the current study, activity density was used to evaluate tillage system impacts because this method can account for both absolute density and mobility of individuals (Lietti *et al.*, 2008). The activity density of some taxa was affected by tillage, indicating that under the current study conditions, tillage systems may not have altered the net abundance of macrofauna but may have influenced the

dispersal of some taxa (e.g., Arachnida in some situations, Diplopoda, Carabidae, and Orthoptera). The alteration of activity density could influence some ecosystem services such as predator function (Spence and Niemela, 1994).

Some taxa, such as Crustacea: Isopoda, represent a high proportion of the total captured individuals in this study, but they were not found by Manetti *et al.* (2010). In addition, this group was one of the most affected by tillage system. In contrast, some important macrofaunal groups were principally found using soil samples, such as Annelida: Oligochaeta and Chilopoda, due to the fact they live below ground (Manetti *et al.*, 2010). These results support the conclusions of Lietti *et al.* (2008) that different sampling methods should be integrated to best determine if tillage systems affect macrofauna populations.

According to the results of this study, the activity density of some macrofauna taxa was influenced by the tillage system under the climatic conditions of this region. In brief, NT systems favored the establishment of detritivores (i.e., Diplopoda and Crustacea: Isopoda, which represented up to 31.4 and 45.5% of the total abundance, respectively). The net effects of tillage systems on crop pests can be difficult to predict (Stinner and House, 1990). In the present study, NT promoted a greater activity density of some phytophagous individuals (i.e., Orthoptera). Of note, detritivores (e.g., *Armadillidium vulgare*) can become phytophagous and cause damage to some crops (e.g., soybean, sunflower, and oilseed rape crops [Faberi *et al.*, 2011]). Meanwhile, under CT, greater activity density of other phytophagous groups (i.e., Formicidae and Lepidoptera) was found. These are important crop pests. The group of predators was represented by Arachnida (i.e., ground-dwelling spiders), Carabidae, and Staphylinidae. Arachnida had higher activity density in some situations and Carabidae showed different responses to tillage system, but Staphylinidae was not affected by tillage system. These results may be explained by the fact that the Carabidae family had a high diversity of species, each one with different body size, life cycle, tolerance to tillage, and seasonal activity rhythm (Spence and Niemela, 1994; Marasas *et al.*, 2001; Purvis and Fadl, 2002).

In conclusion, total activity density was consistently greater under NT, but there were differences within taxonomic groups between the contrasting tillage systems. This finding indicates that soil quality is potentially similar between tillage systems in the southeast of Buenos Aires province if soil macrofauna composition and activity density are considered as an indicator. Selecting the best tillage system will depend on other factors

such as protecting the soil from water erosion or recovering physical or chemical properties. As was concluded by Manetti *et al.* (2010), however, soil macrofauna taxa composition and activity density should be monitored frequently to detect trends and possibly negative impacts.

### **Acknowledgments**

This work was financially supported by Project no. ARG 142/02 of the Universidad Nacional de Mar del Plata and Project no. 525102 of the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

### **References**

- ALVAREZ, R.; STEINBACH, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Tillage Res.* 104:1–15. doi:10.1016/j.still.2009.02.005
- ANDERSEN, A. 1999. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage: II. Pests and beneficial insects. *Crop Prot.* 18:651–657. doi:10.1016/S0261-2194(99)00071-X
- ANDERSEN, A. 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals: II. Effects on pests and beneficial insects. *Crop Prot.* 22:147–152. doi:10.1016/S0261-2194(02)00133-3
- ARAGÓN, J. 1997. Manejo integrado de plagas relacionadas a la siembra directa. In: J.L. Panigatti *et al.*, editors, *Siembra directa*. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires. p. 163–175.
- BAARS, M.A. 1979. Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles. *Oecologia* 41:25–46. doi:10.1007/BF00344835
- BAGUETTE, M.; HANCE, T. 1997. Carabid beetles and agricultural practices: Influence of soil ploughing. *Biol. Agric. Hortic.* 15:185–190. doi:10.1080/01448765.1997.9755193
- BEARE, M.H.; REDDY, M.V.; TIAN, G.; SRIVASTAVA, S.C. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: The role of decomposer biota. *Appl. Soil Ecol.* 6:87–108. doi:10.1016/S0929-1393(96)00150-3
- BRÉVAULT, T., BIKAY, S., MALDÉS, J.M. Y K. NAUDIN. 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil Tillage Res.* 97:140–149. doi:10.1016/j.still.2007.09.006

- BROWN, G.G., PASINI, A., BENITO, N.P., DE AQUINO, A.M. Y M.E.F. CORREIA. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Paper presented at: International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems, Montreal, Canada. 8–10 Nov. 2001.
- BRUSSAARD, L., DE RUITER, P.C. Y G.G. BROWN. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121:233–244. doi:10.1016/j.agee.2006.12.013
- CARMONA, D., MANETTI, P.L., VINCINI, A.M., LÓPEZ, A.N., ÁLVAREZ CASTILLO, H.A. Y M. SORENSEN. 2004. Abundancia, riqueza y dominancia específica de Carábidos (Insecta: Coleoptera) en agroecosistemas bajo siembra directa y agricultura convencional. Poster presented at: 2nd Reunión Binacional de Ecología, Mendoza, Argentina. 31 Oct.–5 Nov. 2004. p. 98.
- CARMONA, D., VINCINI, A.M., MANETTI, P.L., LÓPEZ, A.N. Y H.A. ÁLVAREZ CASTILLO. 2002. Densidad activa estacional de insectos plaga y predadores edáficos en agroecosistemas con siembra directa y agricultura convencional. Poster presented at: 5th Congreso Argentino de Entomología, Buenos Aires. 18–22 Mar. 2002. p. 245.
- CASTRO, J., CAMPOS, P. Y M. PASTOR. 1996. Influencia de los sistemas de cultivo empleados en olivar y girasol sobre la composición de la fauna de artrópodos en el suelo. *Bol. Sanid. Vegetal Plagas* 22:557–570.
- CIVIDANES, F.J. 2002. Effects of tillage systems and intercropping of soybean and corn on soil-inhabiting arthropods. (In Portuguese, with English abstract.) *Pesqui. Agropecu. Bras.* 37:15–23. doi:10.1590/S0100-204X2002000100003
- CREUS, C.J., STUDDERT, G.A., ECHEVERRÍA, H.E. Y S.R. SANCHEZ. 1998. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno en el suelo. *Cienc. Suelo* 16:51–57.
- DOMINGUEZ, G.F., STUDDERT, G.A. Y H.E. ECHEVERRÍA. 2005. Propiedades del suelo: Efectos de las prácticas de manejo. In: H.E. Echeverría and F.O. García, editors, *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires. p. 207–229.
- ERROUSSI, F., MOUSSA-MACHRAOUI, S.B., BEN-HAMMOUDA, M. Y S. NOUIRA. 2011. Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under

- Mediterranean semi arid conditions: A comparison between conventional and no-tillage management. *Soil Tillage Res.* 112:122–132. doi:10.1016/j.still.2010.12.004
- FABERI, A.J., LÓPEZ, A.N., CLEMENTE, N.L. Y P.L. MANETTI. 2011. Importance of diet in the growth, survivorship and reproduction of the no-tillage pest *Armadillidium vulgare* (Crustacea: Isopoda). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 84:407–417. doi:10.4067/S0716-078X2011000300008
- FABRIZZI, K.P., GARCÍA, F.O., COSTA, J.L. Y L.I. PICONE. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 81:57–69. doi:10.1016/j.still.2004.05.001
- GARCÍA-PRÉCHAC, F., ERNST, O., SIRI-PRIETO, G. Y J.A. TERRA. 2004. Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. *Soil Tillage Res.* 77:1–13. doi:10.1016/j.still.2003.12.002
- GASSEN, D.N. 2001a. Beneficios de escarabeídos em lavouras sob plantio direto. In: R. Díaz Rosello, editor, *Siembra directa en el cono sur*. PROCISUR, Montevideo, Uruguay. p. 159–168.
- GASSEN, D.N. 2001b. Manejo de *Diloboderus abderus* en lavouras e pastagens. In: R. Díaz Rosello, editor, *Siembra directa en el cono sur*. PROCISUR, Montevideo, Uruguay. p. 173–182.
- GASSEN, D.N. 2001c. As pragas sob plantio direto. In: R. Díaz Rosello, editor, *Siembra directa en el cono sur*. PROCISUR, Montevideo, Uruguay. p. 103–120.
- GIL, R.C. y A. GARAY. 2001. La siembra directa y el funcionamiento sustentable del suelo. In: J.L. Panigatti *et al.*, editors, *Siembra directa II*. Ediciones INTA, Buenos Aires. p. 5–16.
- HENDRIX, P.F., CROSSLEY, J.M., BLAIR, J.M. y D.C. COLEMAN. 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. In: C.A. Edwards *et al.*, editors, *Sustainable agricultural systems*. Soil Water Conserv. Soc., Ankeny, IA. p. 637–654.
- HENDRIX, P.F., PARMELEE, R.W., CROSSLEY, D.A., COLEMAN, D.C., ODUM, E.P. Y P.M. GROFFMAN. 1986. Detritus food webs in conventional and bio-tillage agroecosystems. *BioScience* 36:374–380. doi:10.2307/1310259
- HOBBS, P.R., SAYRE, K. Y R. GUPTA. 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B* 363:543–555.

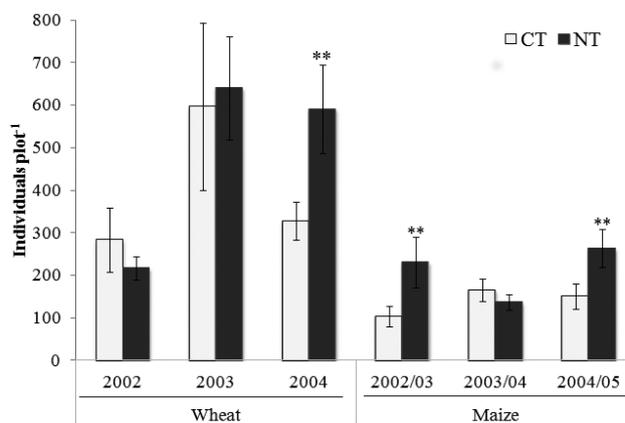
- HOLLAND, J.M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103:1–25. doi:10.1016/j.agee.2003.12.018
- HOLLAND, J.M. Y LUFF M.L.. 2000. The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Integr. Pest Manage Rev.* 5:109–129. doi:10.1023/A:1009619309424
- HOLLAND, J.M. Y REYNOLDS C.J.M.. 2003. The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. *Pedobiologia* 47:181–191. doi:10.1078/0031-4056-00181
- HOUSE, G.J. y PARMELEE R.W. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Tillage Res.* 5:351–360. doi:10.1016/S0167-1987(85)80003-9
- KLADIVKO, E.J. 2001. Tillage system and soil ecology. *Soil Tillage Res.* 61:61–76. doi:10.1016/S0167-1987(01)00179-9
- LAL, R., REICOSKY, D.C. y HANSON J.D. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Tillage Res.* 93:1–12. doi:10.1016/j.still.2006.11.004
- LARSEN, G., MANETTI, P.L., CLEMENTE, N.L., FABERI, A.J., SALVIO, C. y LÓPEZ A.N.. 2007. Relevamiento de la densidad de babosas y bichos bolita en siembra directa. Poster session presented at: 4th Congreso Argentino de Girasol, Buenos Aires. 29–30 May 2007. p. 399–400.
- LAVELLE, P., BIGNELL, D., LEPAGE, M., WOLTERS, V., ROGER, P., INESON, P., *et al.* 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33:159–193.
- LIETTI, M., GAMUNDI, J.C., MONTERO, G., MOLINARI, A. BULACIO V.. 2008. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la abundancia de artrópodos que habitan en el suelo. (In Spanish, with English abstract.) *Ecol. Austral* 18:71–87.
- LIETTI, M.M., MOLINARI, A.M. GAMUNDI J.C.. 1993. Evaluación de las poblaciones de los predadores que habitan en el suelo en cultivos de soja con distintos sistemas de labranza y siembra. Paper presented at: 14th Annais Congreso Brasileiro de Entomologia, Piracicaba, Brasil.

- LOBRY de BRUYN, L.A. 1997. The status of soil macrofauna as indicators of soil health to monitor the sustainability of Australian agricultural soils. *Ecol. Econ.* 23:167–178. doi:10.1016/S0921-8009(97)00052-9
- MANETTI, P.L., LÓPEZ, A.N., CLEMENTE, N.L. FABERI A.J.. 2010. Tillage system does not affect soil macrofauna in southeastern Buenos Aires province, Argentina. *Span. J. Agric. Res.* 8:377–384.
- MANUEL-NAVARRETE, D., GALLOPÍN, G., BLANCO, M., DÍAZ-ZORITA, M., FERRARO, D., HERZER, H., *et al.* 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: Sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. UN Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Santiago, Chile.
- MARASAS, M. 2002. La coleópteroфаuna edáfica y su relación con la calidad del suelo. In: S.J. Sarandón, editor, *El camino hacia una agricultura sustentable: Agroecología*. Ediciones Científicas Americanas, Buenos Aires. p. 135–151.
- MARASAS, M.E., SARANDON, S.J. Y A.C. CICCHINO. 1997. Efecto de la labranza sobre la coleopteroфаuna edáfica en un cultivo de trigo en la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Cienc. Suelo* 15:59–63.
- MARASAS, M.E., SARANDON, S.J. CICCHINO A.C.. 2001. Changes in soil arthropod functional group in a wheat crop under conventional and no tillage systems in Argentina. *Appl. Soil Ecol.* 18:61–68. doi:10.1016/S0929-1393(01)00148-2
- MARTINS, I.C., CIVIDANES, F.J., BARBOSA, J.C., DE SOUZA ARAÚJO, E. QUEIROZ HADDAD, G. 2009. Faunal analysis and population fluctuation of Carabidae and Staphylinidae (Coleoptera) in no-tillage and conventional tillage systems. (In Portuguese, with English abstract.) *Rev. Bras. Entomol.* 53:432–443. doi:10.1590/S0085-56262009000300019
- MCCULLAGH, P. NELDER J.A. 1989. *Generalized linear models*. Chapman and Hall, London.
- MENALLED, F.D., SMITH, R.G., DAUER, J.T.; FOX, T.B. 2007. Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118:49–54. doi:10.1016/j.agee.2006.04.011

- MICUCCI, F. Y M.A. TABOADA. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 86:152–162. doi:10.1016/j.still.2005.02.004
- MONDINO, E., LÓPEZ, A.N., VINCINI, A.M., MANETTI, P.L. Y ALVAREZ CASTILLO, H.A. 1998. Estudios sobre *Diloboderus abderus* Sturm (Coleoptera: Scarabaeidae) plaga potencial en siembra directa en el sudeste bonaerense. Poster presented at: 4th Congreso Argentino de Entomología, Mar del Plata, Argentina. 8–12 Mar. 1998. p. 151.
- MORRAS, H., IRURTIA, C., IBARLUCEA, C., LANTIN, M. MICHELENA, R.. 2001. Recuperación de suelos pampeanos degradados mediante siembra directa y subsolador. In: J.L. Panigatti *et al.*, editors, Siembra directa II. Ediciones INTA, Buenos Aires. p. 263–278.
- PRUETT, C.J.H. Y I. GUAMÁN. 2001. Principios de manejo integrado de plagas y biocontrol en siembra directa. In: R. Díaz Rosello, editor, Siembra directa en el cono sur. PROCISUR, Colonia, Uruguay. p. 121–158.
- PURVIS, G. FADL, A. 2002. The influence of cropping rotations and soil cultivation practice on the population ecology of carabids (Coleoptera: Carabidae) in arable land. *Pedobiologia* 46:452–474. doi:10.1078/0031-4056-00152
- ROBERTSON, L.N., KETTLE, B.A. SIMPSON G.B.. 1994. The influence of tillage practices on soil macrofauna in a semi-arid agroecosystem in northeastern Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 48:149–156. doi:10.1016/0167-8809(94)90085-X
- RODRÍGUEZ, E., FERNÁNDEZ ANERO, F.J., RUIZ, P. CAMPOS, M.. 2006. Soil arthropod abundance under conventional and no tillage in a Mediterranean climate. *Soil Tillage Res.* 85:229–233. doi:10.1016/j.still.2004.12.010
- ROGER-ESTRADE, J., ANGER, C., BERTRAND, M. Y G. RICHARD. 2010. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil Tillage Res.* 111:33–40. doi:10.1016/j.still.2010.08.010
- SAMU, F., SUNDERLAND, K.D. Y S. CSABA. 1999. Scale-dependent dispersal and distribution patterns of spiders in agricultural systems: A review. *J. Arachnol.* 27:325–332.
- SÁNCHEZ, S.R., STUDDERT, G.A. Y H.E. ECHEVERRÍA. 1996. Descomposición de residuos de cosecha en un Argiudol típico. *Cienc. Suelo* 14:63–68.

- SAS Institute. 2001. SAS/STAT software release 8.02. SAS Inst., Cary, NC.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 2009. Estimaciones agrícolas. SAGPyA, Buenos Aires.
- SPENCE, J.R. Y J.K. NIEMELA. 1994. Sampling carabids assemblages with pitfall traps: The madness and the method. *Can. Entomol.* 126:881–894. doi:10.4039/Ent126881-3
- STINNER, B.R. Y G.J. HOUSE. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 35:299–318. doi:10.1146/annurev.en.35.010190.001503
- STUDDERT, G.A. 2003. “Sojización”, ¿un riesgo para los suelos del S.E. bonaerense? Paper presented at: Actas 20<sup>th</sup> Jornada de Actualización Profesional sobre Cosecha Gruesa, Mar del Plata, Argentina. 19 Sept. 2003. p. 94–103.
- STUDDERT, G.A., Y H.E. ECHEVERRÍA. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496–1503. doi:10.2136/sssaj2000.6441496x
- THIELE, H.U. 1977. Carabid beetles in their environments: A study on habitat selection by adaptation in physiology and behaviour. Springer, Berlin.
- TILLMAN, G., SCHOMBERG, H., PHATAK, S., MULLINIX, B., LACHNICHT, S., TIMPER, P. Y D. OLSON. 2004. Influence of cover crops on insect pests and predators in conservation tillage cotton. *J. Econ. Entomol.* 97:1217–1232. doi:10.1603/0022-0493-97.4.1217
- TORRUSIO, S., DE WYSIECKI, M.L. Y J. OTERO. 2005. Estimación de daño causado por *Dichroplus elongatus* Giglio-tos (Orthoptera: Acrididae) en cultivos de soja en siembra directa, en la provincia de Buenos Aires. *Rev. Invest. Agropecu.* 34(3):59–72.
- TULLI, M.C., CARMONA, D.M., LÓPEZ, A.N., MANETTI, P.L., VINCINI, A.M. Y G. CENDOYA. 2009. Predation on the slug *Deroceras reticulatum* (Pulmonata: Stylommatophora) by *Scarites anthracinus* (Coleoptera: Carabidae). *Ecol. Austral* 19(1):55–61.
- VES LOSADA, J.C. Y E.M. BAUDINO. 1998. Influencia de sistemas de labranza sobre la población de tucuras (Orthoptera:Acrididae). Boletín de Divulgación Técnica 59. INTA Estación Exp. Agropec., Anguil, Argentina.
- WALLWORK, J.A. 1976. The distribution and diversity of soil fauna. Academic Press, London.

WOLTERS, V. Y K. EKSCMITT. 1997. Gastropods, Isopods, Diplopods, Chilopods: Neglected groups of the decomposer food web. In: G. Benckiser, editor, Fauna in soil ecosystems: Recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production. Marcel Dekker, New York. p. 265–306.



**Figure CIII.1. Mean total macrofauna activity density ( $\pm$ SE) under conventional tillage (CT) and no-till (NT) in three wheat and maize crop cycles. \*\*Significant at the 0.05 probability level within a crop and in the same season sampling.**

**Table CIII.1. Mean activity-density (individuals plot<sup>-1</sup>) of principal arthropod taxa collected under conventional tillage (CT) and no-tillage (NT) in three wheat and maize crop cycles.**

Taxon	Wheat cycle						Maize cycle					
	1		2		3		1		2		3	
	CT	NT	CT	NT	CT	NT	CT	NT	CT	NT	CT	NT
	Individuals plots <sup>-1</sup>											
Arachnida	33.71 †	31.00 †	53.24	53.24 ns ‡	56.32 †	54.11 †	13.75	27.73 *	37.56	39.58 ns	26.77	54.95 **
Diplopoda	23.96 †	60.32 †	41.32	196.82 ***	54.03	113.49 *	1.25	3.83 ns	4.11	12.39 *	8.26	18.26 ns
Crustacea												
Isopoda	8.14	20.82 **	10.89	122.24 *	9.53	209.97 ***	1.00	104.00 ***	1.75	1.29 ns	13.60	92.54 ***
Insecta	212.68 †	90.44 †	444.22 ***	251.30	196.82	199.00 ns	84.25	92.80 ns	107.86	75.24 ns	89.31	93.15 ns
Coleoptera	166.25 †	72.02 †	155.49 ***	82.48	114.74	137.57 ns	67.92	61.33 ns	34.31	44.92 ns	39.14	46.62 ns
Carabidae	156.68 **	66.47	114.49 **	61.18	82.85	111.54 *	50.58 ***	20.23	17.17	30.66 *	22.83	26.21 ns
Scarabeidae	4.82 †	1.76 †	7.32 †	3.52 †	6.59	5.69 ns	9.67	36.27 *	9.33	11.11 ns	7.89	12.23 ns
Staphylinidae	0.89	0.38 ns	6.49	5.12 ns	1.71	1.17 ns	2.92	2.07 ns	2.41	1.50 ns	1.37	1.87 ns
Orthoptera	1.75 †	8.68 †	1.68	53.76 ***	2.53	13.94 ***	4.17	23.47 ***	13.03 †	18.53 †	10.17	33.49 ***
Acrididae	1.21	6.15 *	0.76	48.88 ***	0.67	1.85 *	1.67	14.90 **	3.83	12.61 **	0.71	3.23 ***
Gryllidae	0.54	2.53 ns	0.91	4.48 **	1.85	12.09 **	2.50	8.57 **	9.14 †	6.92 †	9.45	30.26 ***
Lepidoptera	33.46 **	2.65	182.38 *	36.06	17.82	14.29 ns	0.66	0.80 ns	1.19 **	0.37	0.54	0.28 ns
Hymenoptera	10.11 †	5.88 †	102.03 **	76.94	58.29	30.83 ns	10.25 **	5.63	58.50 †	11.16 †	38.54	12.64 ns

\* Significant tillage system effect on activity density at the 0.05 probability level within cycle; ns, nonsignificant effects of neither interaction or tillage system at the 0.05 probability level.

\*\* Significant tillage system effect on activity density at the 0.01 probability level within cycle.

\*\*\* Significant tillage system effect on activity density at the 0.001 probability level within cycle.

† Significant interaction effect (tillage system × sampling date) in activity density ( $P < 0.05$ ) within crop cycle and crop.

.

# **7. CAPÍTULO IV**

## 7. CAPÍTULO IV

### LOS CARABIDOS EN SISTEMAS DE LABRANZA CONTRASTANTES: DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA

**Manetti, P. L.; Faberi, A.J.; Clemente, N.L y A.N. López**

*Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Nacional de Mar del Plata– Estación Experimental Agropecuaria, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (UIB), C.C. 276 (7620), Balcarce, Argentina.*

#### Resumen

La abundancia y diversidad de los carábidos, componentes fundamentales en los agroecosistemas, pueden estar afectada por los sistemas de labranza. El objetivo fue comparar los efectos de la labranza convencional (LC) y la siembra directa (SD), sobre la diversidad y la abundancia de los carábidos en un cultivo invierno-primaveral y en un cultivo estival. Se tomaron muestras en dos ciclos agrícolas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de maíz (*Zea mays* L.) en lotes comerciales bajo LC y SD. Se colocaron 10 trampas de caída siguiendo una línea recta en el centro de cada lote y el contenido de las mismas se recogió cada 15 días a lo largo del ciclo de cada cultivo. Los individuos fueron identificados y contados en el laboratorio. Se determinó la densidad activa (individuos lote<sup>-1</sup>), la riqueza de especies (S), la diversidad (índice de Shannon, H) y la equitatividad (índice de Pielou, J). La densidad activa total de los carábidos no estuvo relacionada a los sistemas de labranza mostrando diferentes respuestas entre los sistemas de labranza. La riqueza (S) fue mayor en LC respecto a SD en un ciclo de trigo y en un ciclo de maíz. Sin embargo, no se hallaron diferencias en los índices H y J entre los sistemas de labranza. Se hallaron 17 especies con una proporción mayor al 1% del total de individuos capturados. De ellas, 3 especies de tamaño corporal grande, *Calosoma* sp., *Scarites anthracinus* y *Trirammatus striatulus*, representaron entre el 46 y el 69% del total de individuos capturados en LC y entre el 66 y el 78% en SD. *Scarites anthracinus* fue la especie de mayor densidad activa en ambos cultivos y no fue afectada por el sistema de labranza. La densidad activa de *Trirammatus striatulus* presentó una respuesta inconsistente a los sistemas de labranza. *Calosoma* sp. presentó mayor densidad activa en LC respecto a SD en un ciclo agrícola de cada cultivo. Se

concluye que las diferencias entre sistemas se deben a diferencias halladas entre las 3 especies más frecuentes. Deberá evitarse la sobre simplificación de los sistemas productivos bajo SD para preservar sitios de refugio y alimentación de los carábidos tanto en el tiempo como en el espacio.

**PALABRAS CLAVE:** Sustentabilidad, labranza convencional, siembra directa

### **Introducción**

Los carábidos constituye la familia más numerosa del orden Coleoptera cuyas especies están íntimamente relacionadas con el suelo y son uno de los grupos de artrópodos benéficos más diverso y numeroso en los agroecosistemas (Holland y Luff, 2000; Marasas, 2002). Además de ser reconocidos como agentes de biocontrol de especies antagonistas de la agricultura, los carábidos realizan otros servicios agroecosistémicos; promoviendo la actividad microbiana, a través de sus deyecciones y secreciones, y mejorando la estructura del suelo, removiendo y cavando el suelo, favoreciendo la circulación de agua y aire (Marasas *et al.*, 1997).

En Argentina, el recurso suelo ha sido afectado por su uso continuo, asociado con el cambio de sistemas agrícola-ganaderos a sistemas agrícolas (Manuel-Navarrete *et al.*, 2005). La utilización intensiva y continua de las prácticas de labranza convencional (LC) (i.e. arado de reja o rastra de discos) promovió la erosión del suelo y de otros procesos de degradación a través de su impacto en los factores físicos, químicos y biológicos del suelo. En consecuencia, se adoptó la siembra directa (SD), descartándose la remoción total del suelo, y realizando la siembra sobre los residuos vegetales en la superficie (Studdert y Echeverría, 2000; Miccuci y Taboada, 2006; Lal *et al.*, 2007). La SD, como sistema de labranza conservacionista, influye sobre el suelo preservando su estructura, conservando su materia orgánica y atenuando sus extremos de humedad y temperatura (Fabrizzi *et al.*, 2005; Lal *et al.*, 2007; Alvarez & Steinbach, 2009).

La abundancia y diversidad de los carábidos puede ser alterada por las labranzas, las que pueden afectar a las poblaciones directa o indirectamente. Directamente, debido al daño mecánico y la mortalidad de los individuos, e indirectamente a través cambios en su hábitat y a la disminución en la disponibilidad de presas y fuentes alimenticias alternativas (Stinner & House, 1990). En cambio, la SD provee un ambiente que proporciona refugio ante condiciones abióticas extremas y que facilita la captura de las

presas. Si bien el consenso general en la literatura indica una mayor diversidad y/o abundancia de carábidos en sistemas bajo SD, Holland & Luff (2000) indican respuestas diferentes en la abundancia de carábidos a los sistemas de labranza. La variabilidad en los resultados reportados depende de los requerimientos ambientales específicos, de los tamaños diferentes y de las fenologías de las especies de carábidos.

A nivel mundial existen diversos estudios donde se compararon las poblaciones de carábidos en diferentes sistemas de labranza. No obstante, se ha mencionado que los resultados no siempre son consistentes entre los sitios de estudio y se requieren datos a nivel local (Holland & Luff, 2000). El objetivo de este estudio fue comparar los efectos de dos sistemas de labranza contrastantes, LC y SD, sobre la diversidad y la abundancia de los carábidos en un cultivo invierno-primaveral y en un cultivo estival en el sudeste de la provincia de Buenos Aires.

### **Materiales y métodos**

Se realizaron muestreos durante el desarrollo de cultivos de trigo (*Triticum aestivum* L.) (agosto – diciembre) y de maíz (*Zea mays* L.) (noviembre – abril) en lotes comerciales bajo LC y SD en dos ciclos agrícolas (siembra – cosecha). En el ciclo agrícola 1 (año 2002), en el cultivo de trigo se tomaron muestras en 4 lotes bajo LC y en 5 lotes bajo SD, y en el cultivo de maíz en 2 lotes bajo LC y en 5 bajo SD. En el ciclo agrícola 2 (año 2003) en cada cultivo se realizaron muestreos en 4 lotes bajo LC y en 4 bajo SD. Dichos lotes estuvieron ubicados dentro de un radio de 30 km desde la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (37° 45' 45" S, 58° 18' 03" W), con una superficie entre 30 y 50 ha y los lotes bajo SD una historia de uso de al menos 5 años bajo ese sistema.

Para recolectar los carábidos se utilizaron trampas de caída. En el centro de cada lote se colocaron 10 trampas, una cada 10 m, siguiendo una línea recta. Las trampas consistieron en vasos (9 cm de diámetro en la base, 11 cm de diámetro superior y 11 cm de profundidad) enterrados a nivel del suelo y conteniendo un tercio de su volumen con una solución de formaldehído al 4%. Las trampas se revisaron cada 15 días a lo largo de cada ciclo agrícola donde se retiraron los carábidos capturados y se reacondicionaron.

En el laboratorio, los carábidos capturados se identificaron a nivel de especie y se contaron. Los ejemplares identificados y contados en las 10 trampas provenientes de cada lote y en cada fecha de evaluación fueron considerados como una única unidad

para el análisis de los datos. El número promedio de individuos capturados por lote (individuos lote<sup>-1</sup>) en cada fecha de muestreo fue considerado como una medida de su densidad activa (Thiele, 1977; Baars, 1979). En cada lote y en cada fecha de muestreo se determinó la riqueza, la diversidad y la equitatividad de las especies. La riqueza ( $S$ ) se determinó como el número de especies presentes, la diversidad se estimó mediante el índice de Shannon:  $H = -\sum p_i \log p_i$  (donde:  $p_i$  = frecuencia relativa de individuos de la especie  $i$  en la muestra) y la equitatividad mediante el índice de Pielou,  $J = H/\ln S$ .

El número individuos por lote total y por especie de carábido se analizaron mediante modelos lineales generalizados en función del sistema de labranza y la fecha de muestreo para cada combinación de ciclo y cultivo (Mc Cullagh & Nelder, 1989) con el procedimiento `glm.nb` del software estadístico R versión 2.15.1 (R Development Core Team, 2012). Los índices  $S$ ,  $H$  y  $J$  se analizaron mediante análisis de la varianza en función de los efectos de sistema de labranza, fecha de evaluación y los efectos de interacción con el software estadístico R versión 2.15.1 (R Development Core Team, 2012). Cuando los efectos de interacción fueron significativos en alguna variable, la misma se comparó entre sistemas dentro de cada fecha de muestreo mediante el procedimiento `lsmeans` (R Development Core Team, 2012).

### Resultados y discusión

Se recolectaron e identificaron 16500 carábidos (13380 en el cultivo de trigo y 3120 en el cultivo de maíz) durante los dos ciclos agrícolas de los dos cultivos bajo los dos sistemas de labranza. Dichos carábidos se clasificaron dentro de 5 subfamilias (Carabinae, Scaritinae, Paussinae, Psydrinae, Harpalinae) y 13 tribus (Carabini, Scaritini, Clivinini, Brachinini, Bembidiini, Pterostichini, Cnemalobini, Harpalini, Galeritini, Cyclosomini, Lebiini, Lachnophorini, Platynini).

Se capturó mayor cantidad de individuos en los muestreos realizados durante el desarrollo de los cultivos de trigo respecto a los de maíz (Tabla 1.CIV). Este resultado coincide con los reportado por Marasas *et al.* (1997; 2001) y a los citados por Holland y Luff (2000) quienes mencionan que la densidad activa de los carábidos disminuye hacia el verano, posiblemente debido a las condiciones adversas de alta temperatura y radiación (Niemelä *et al.*, 1992).

**Tabla CIV.1. Densidad activa (individuos lote<sup>-1</sup>) de los principales taxa de Carabidae, densidad activa total, riqueza (*S*), diversidad (*H*: índice de Shannon) y equitatividad (*J*: índice de Pielou) de Carabidae recolectados en sistemas de trigo y maíz bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) durante dos ciclos agrícolas.**

	Ciclo agrícola de trigo				Ciclo agrícola de maíz			
	1		2		1		2	
	LC	SD	LC	SD	LC	SD	LC	SD
	Individuos lote <sup>-1</sup>							
Subfamilia Carabinae								
<i>Calosoma</i> spp.	29,7 a	1,8 b	12,5 a	12,1 a	15,3 a	4,9 b	0,8*	11,6*
Subfamilia Scaritinae								
<i>Scarites anthracinus</i>	32,1*	19,9*	20,9 a	20,3 a	17,8 a	11,5 a	6,0 a	9,5 a
<i>Clivina laeta</i>	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0
Subfamilia Harpalinae								
<i>Eumara obscura</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0
<i>Argutoridius</i> spp.	1,3	0,7	1,0	0,8	0,1	0,0	0,8	0,9
<i>Paranortes cordicollis</i>	3,6	2,6	0,0	0,2	5,3	3,2	0,1	1,4
<i>Trirammatus striatulus</i>	17,0 a	22,5 a	29,1 a	12,7 b	1,9*	1,2*	1,1 b	3,3 a
<i>Trirammatus chalceus</i>	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Loxandrus simplex</i>	5,4	5,9	2,7	0,0	1,8	0,3	0,1	0,3
<i>Loxandrus confusus</i>	0,8	2,2	1,9	2,4	0,8	0,0	0,1	0,1
<i>Cnemalobus striatus</i>	0,6	0,0	0,6	0,0	5,1	0,7	0,0	0,1
<i>Polpochila flavipes</i>	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0
<i>Selenophorus</i> spp.	4,9	0,1	0,0	0,7	0,1	0,0	0,0	0,1
<i>Gynandropus</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
<i>Notiobia cupripennis</i>	0,6	0,7	0,2	0,3	0,6	0,5	0,9	1,4
<i>Galerita collaris</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,9	0,5
<i>Lachnophorini</i> sp.	0,0	0,0	1,0	1,6	0,0	0,0	1,4	0,6
<b>Densidad Activa total</b>	156,7*	66,5*	125,4 a	67,3 b	50,6 a	22,8 b	17,3 b	31,1 a
<b>Riqueza (<i>S</i>)</b>	6,76 a	6,89 a	7,69 a	6,42 b	5,92 a	3,50 b	4,57 a	4,23 a
<b>Diversidad (<i>H</i>)</b>	1,19*	1,05*	1,28 a	1,18 a	1,06 a	0,80 a	1,05 a	0,83 b
<b>Equitatividad (<i>J</i>)</b>	0,64 a	0,63 a	0,65 a	0,69 a	0,63 a	0,66 a	0,72 a	0,62 a

Letras iguales entre los sistemas de labranza dentro de un ciclo agrícola y cultivo indican diferencias no significativas ( $P > 0,05$ ). \* Indica efecto de interacción significativo (sistema de labranza x fecha de evaluación) en la variable dentro de un ciclo agrícola y cultivo ( $P < 0,05$ ).

La respuesta en la densidad activa total de los carábidos a los sistemas de labranza fue inconsistente en los dos ciclos agrícolas de ambos cultivos (Tabla CIV.1). En el primer ciclo agrícola de trigo se observó efecto de interacción ( $P < 0,001$ ), hallándose una mayor densidad activa en LC respecto a SD en las dos últimas fechas de evaluación (datos no mostrados). La densidad activa fue mayor en LC respecto a SD en el segundo ciclo del trigo y en el primer ciclo del maíz ( $P < 0,001$ ). En el segundo ciclo del maíz se observó un comportamiento inverso, mayor densidad activa en SD respecto a LC ( $P = 0,03$ ). Estos datos se contradicen con aquellos presentados por revisiones clásicas, en las cuales se menciona que en SD se halla una densidad mayor de carábidos respecto a la LC (Stinner y House, 1990). Posteriormente, se mencionó que la abundancia de los carábidos en diferentes sistemas de labranza presenta resultados

contradictorios (Holland y Luff, 2000). Estas publicaciones resumen datos provenientes de otras regiones del mundo donde se hallan otras especies de carábidos.

En Argentina se han hecho estudios comparando las poblaciones de carábidos entre sistemas de labranza en el norte de la provincia de Buenos Aires (Marasas *et al.*, 1997; 2001) y en el sur de la provincia de Santa Fe (Lietti *et al.*, 2008). Marasas *et al.* (1997, 2001) hallaron una densidad activa mayor de carábidos bajo SD al inicio de la estación de los cultivos. Los autores sugieren que las poblaciones de carábidos en LC se restablecen luego de un tiempo de ocasionado el disturbio mecánico. Por otra parte, similarmente a lo hallado en el presente estudio, Lietti *et al.* (2008) reportaron una densidad activa mayor de carábidos en los sistemas de LC. No obstante, en ambas regiones la densidad absoluta de carábidos no presentó diferencias entre ambos sistemas (Lietti *et al.*, 2008; Manetti *et al.*, 2010). Estos resultados coinciden con lo sugerido por Holland y Luff (2000) quienes señalan que la LC puede generar un hábitat más abierto que favorece el desplazamiento de los carábidos y por lo tanto una mayor tasa de captura de las trampas de caída.

La riqueza de especies (S) fue mayor en LC respecto a SD en un ciclo agrícola de trigo y en un ciclo agrícola de maíz ( $P < 0,01$ ), coincidiendo con lo observado en la densidad activa total (Tabla 1). Estos resultados coinciden parcialmente con los hallados por Hatten *et al.*, (2007), quienes reportan una riqueza mayor en LC respecto a SD en algunos cultivos de verano, y el resultado inverso en cultivos de cereales de invierno. Por otra parte, también se ha hallado valores de riqueza similares entre ambos sistemas de labranza (Baguette & Hance, 1997).

La equitatividad (J) presentó valores elevados, iguales o mayores a 0,62. Dichos valores fueron similares entre los sistemas de labranza en ambos cultivos ( $P > 0,05$ ). Estos resultados coinciden con lo hallado en el cultivo de trigo por Hatten *et al.* (2007). Sin embargo, estos autores señalan mayor equitatividad en otros cultivos bajo SD respecto a cultivos bajo LC, similarmente a lo reportado por (Menalled *et al.*, 2007; Fernandes Martins *et al.*, 2009).

Algunos trabajos indican que la SD aumenta la diversidad de carábidos (Stinner y House, 1990; Baguette y Hance, 1997; Holland y Luff, 2000; Hatten *et al.*, 2007; Menalled *et al.*, 2007; Fernandes Martins *et al.*, 2009). Sin embargo, el índice H no presentó diferencias significativas entre los sistemas de labranza en dos ciclos agrícolas

( $P > 0,05$ ), fue mayor en LC respecto a SD en el segundo ciclo de maíz ( $P = 0,04$ ) y se halló efecto de interacción en primer ciclo de trigo ( $P = 0,04$ ) (Tabla CIV.1). En estudios previos en Argentina se han hallado valores similares de diversidad entre sistemas de labranza en algunos meses de muestreo, pero con valores absolutos menores (Marasas *et al.*, 1997).

En la Tabla CIV.1 se muestra la composición específica de aquellos taxa con una proporción mayor al 1% del total de individuos capturados. Estos taxa fueron similares a los encontrados en estudios realizados en Argentina (Marasas *et al.*, 1997; 2001 y Lietti *et al.*, 2008) y Brasil (Fernandes Martins *et al.*, 2009) y diferentes a otros realizados en otras partes del mundo (i.e. EEUU y Europa, principalmente). Los diferentes resultados entre los estudios puede deberse a que las especies poseen diferentes requerimientos y susceptibilidades de acuerdo a su tamaño, ciclo de vida y alimentación, respondiendo diferentemente a los disturbios del suelo (Baguette & Hance, 2007). Además, cada especie puede reaccionar de modo diferente a los sistemas de labranza en distintos sitios (Cárcamo *et al.*, 1995).

En ambos sistemas de labranza, las especies más representativas fueron *Calosoma* sp., *Scarites anthracinus* y *Trirammatus striatulus*, todas ellas de tamaño corporal grande. Estas especies representaron entre el 46 y el 69% del total de individuos capturados en LC y entre el 66 y el 78% en SD. Según algunos autores las especies grandes son favorecidas en lotes bajo SD (Baguette & Hance, 1997; Kladvko, 2001; Hatten *et al.*, 2007). No obstante, ha sido hallado que especies de gran tamaño como *Calosoma* spp. y *Scarites anthracinus* presentan una densidad activa mayor en sistemas bajo LC (Lietti *et al.*, 2008).

*Scarites anthracinus* fue la especie más representativa en ambos sistemas de labranza y en general, su densidad activa no presentó diferencias entre los sistemas ( $P > 0,05$ ) (Tabla CIV.1). Esta especie fosora realiza galerías profundas que podrían evitar el daño mecánico de la LC. Además, presenta actividad nocturna, independizándose de los efectos de la demanda atmosférica durante las horas de sol. Por otra parte, posee gran capacidad de desplazamiento, pudiendo colonizar los lotes desde las áreas perimetrales no laboreadas (Marasas *et al.*, 2010).

*Trirammatus striatulus* presentó una densidad activa mayor en los cultivos de trigo respecto a los de maíz. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Marasas

*et al.* (2001) quienes indican que esto se debe a que la especie se refugia de los efectos del calor y la radiación del verano. Se observaron diferencias inconsistentes respecto a su densidad activa en los dos sistemas de labranza (Tabla CIV.1), tal vez debido a su gran actividad superficial que le permite sortear las anfractuosidades del suelo.

Similarmente a lo encontrado por Hatten *et al.* (2007) y por Lietti *et al.* (2008), se observó mayor densidad activa de *Calosoma* sp. en LC respecto a SD ( $P < 0,05$ ) (Tabla 1.CIV). Sin embargo, el efecto opuesto también fue hallado en algunas fechas de muestreo en maíz (efecto de interacción,  $P = 0,02$ ) o no se halló efecto del sistema de labranza (segundo ciclo de trigo;  $P = 0,89$ ). Las especies de *Calosoma* son predadores específicos de larvas de lepidópteros y se ha demostrado que la densidad activa mayor de especies de *Calosoma* en sistemas de LC puede estar asociada a incrementos en la disponibilidad de presas (e.g. larvas de lepidópteros) en este sistema (Lietti *et al.*, 2008). Esta afirmación puede confirmarse con lo hallado en el primer ciclo de trigo donde la densidad de larvas de lepidópteros fue mayor en LC que en SD (Manetti *et al.*, 2013).

### **Conclusión**

Los resultados de este estudio representan una fuente de información importante respecto a la composición específica de las especies de carábidos presentes en una zona netamente agrícola. Este taxón es muy diverso e incluye a diferentes grupos tróficos, con diferentes fenologías, hábitos, preferencias por microclimas o hábitats particulares. Conocer la biología y ecología de las especies presentes representa una línea de investigación con la cual se podría mejorar el uso de estos valiosos recursos biológicos.

En principio se espera que las labores mecánicas de la LC afecten a los carábidos. Sin embargo, los resultados de este estudio no muestran indicios de los efectos negativos de las labores mecánicas sobre esta familia. Las diferencias halladas entre sistemas se debieron al aporte de 3 especies dominantes cuya respuesta a los sistemas de labranza puede asociarse a la presencia de sus presas. Es interesante resaltar que en SD se halló una riqueza menor de especies en los dos ciclos agrícolas. Posiblemente en este sistema, donde el control de especies vegetales antagonistas se hace exclusivamente con herbicidas, algunas especies de carábidos se queden sin refugio y/o presencia de presas durante los períodos en los cuales no hay cultivo.

La SD continuará siendo el sistema de labranza más utilizado en esta zona donde pueden darse efectos erosivos y de degradación del recurso suelo. No obstante, deberá

evitarse la sobre simplificación de los sistemas productivos bajo SD para preservar sitios de refugio y alimentación de los carábidos tanto en el tiempo como en el espacio.

### **Bibliografía**

- ALVAREZ, R. y H.S STEINBACH. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Tillage Res.* 104: 1-15.
- BAARS, M.A. 1979. Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles. *Oecologia* 41: 25-46.
- BAGUETTE, M y TH HANCE. 1997. Carabid beetles and agricultural practices: influence of soil ploughing. *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems* 15: 185-190.
- BEARE, M.H., VIKRAM REDDY, M., TIAN, G. y S.C. SRIVASTAVA. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of decomposer biota. *Appl. Soil Ecol.* 6: 87-108.
- CARCAMO, H.A. 1995. Effect of tillage on ground beetles (Coleoptera: Carabidae): a farm-scale study in Central Alberta. *The Canadian Entomologist* 127: 631-639.
- FABRIZZI, K.P.; GARCÍA, F.O.; COSTA, J.L. y L.I. PICONE. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 81: 57-69.
- FERNANDES MARTINS, I.C., CIVIDANES, F.J., BARBOSA, J.C., DE SOUZA ARAÚJO, E. y G. QUEIROZ HADDAD. 2009. Análise de fauna e flutuação populacional de Carabidae e Staphylinidae (Coleoptera) em sistemas de plantio direto e convencional. *Rev. Bras. Entomol.* 53(3):432-443.
- HATTEN, T.D., BOSQUE-PEREZ, N.A., LABONTE, J.R., GUY, S.O. y S.D. EIGENBRODE. 2007. Effects of tillage on the activity density and biological diversity of carabid beetles in spring and winter crops. *Environ. Entomol.* 36(2): 356-368.
- HOLLAND, J.M. y M.L. LUFF. 2000. The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Int. Pest Manage Rev.* 5: 105-129.
- KLADIVKO, E.J. 2001. Tillage system and soil ecology. *Soil Tillage Res.* 61: 61-76.
- LAL, R., REICOSKY, D.C. y J.D. HANSON. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Tillage Res.* 93: 1-12.

- LIETTI, M., GAMUNDI, J.C., MONTERO, G., MOLINARI, A. y V. BULACIO. 2008. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la abundancia de artrópodos que habitan en el suelo. *Ecología Austral* 18: 71-87.
- MANETTI, P.L., LÓPEZ, A.N., CLEMENTE, N.L. y A.J. FABERI. 2010. Tillage system does not affect soil macrofauna in southeastern Buenos Aires province, Argentina. *Span. J. Agric. Res.* 8(2): 377-384.
- MANETTI, P.L., FABERI, A.J.; LÓPEZ, A.N. y N.L. CLEMENTE. 2013. Macrofauna activity-density in contrasting tillage systems in Buenos Aires province, Argentina. *Agron. J.* 105 (6): 1780-1786.
- MANUEL-NAVARRETE, D, GALLOPÍN, G., BLANCO, M., DÍAZ-ZORITA, M., FERRARO, D., HERZER, H., LATERRA, P., MORELLO, J., MURMIS, M.R., PENGUE, W. *et al.* 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo. Naciones Unidas. Santiago de Chile. 65 pp.
- MARASAS, M. 2002. La coleópteroфаuna edáfica y su relación con la calidad del suelo. En: S.J. Sarandón (ed). Pp.135-151. El camino hacia una agricultura sustentable. Agroecología. Ediciones Científicas Americanas, Buenos Aires, Argentina.
- MARASAS, M.E., SARANDON, S.J. y A.C. CICCHINO. 1997. Efecto de la labranza sobre la coleopteroфаuna edáfica en un cultivo de trigo en la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ci suelo* 15: 59-63.
- MARASAS, M.E., SARANDÓN, S.J. y A.C. CICCHINO. 2010. Semi-natural habitats and field margins in a typical agroecosystem of the Argentinean pampas as a reservoir of carabid beetles. *J. Sustain. Agri.* 34(2): 153-168.
- MCCULLAGH, P. y J.A. NELDER. 1989. Generalized linear models. Chapman and Hall. London, UK.
- MENALLED, F.D., SMITH, R.G., DAUER, J.T. y T.B. FOX. 2007. Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118: 49-54.
- MICCUCI, F. y M.A. TABOADA. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 86: 152-162.

- NIEMELÄ, J.J., SPENCE, R. y D.H. SPENCE. 1992. Habitat associations and seasonal activity of ground-beetles (Coleoptera, Carabidae) in Central Alberta. *The Canadian Entomologist* 124: 521-540.
- R Development Core Team. 2012. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>
- STINNER, B.R. y G.J. HOUSE. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation - tillage agriculture. *Ann. Rev. Entomol.* 35: 299-318.
- STUDDERT, G.A. y H.E. ECHEVERRÍA. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1496-1503.
- THIELE, H.U. 1977. *Carabid Beetles in their Environments. A study on habitat selection by adaptation in physiology and behaviour.* Springer, Berlin, Germany.

## **8. CAPÍTULO V**

## 8. CAPÍTULO V

### HERBÍVOROS BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA: DIRECTA Y CONVENCIONAL

#### INTRODUCCIÓN

Como se ha indicado en el capítulo II dentro de la gran diversidad de invertebrados que compone especialmente la macrofauna, algunos de sus integrantes se alimentan de partes de las plantas cultivadas y por tal motivo son considerados perjudiciales.

De acuerdo a Boote *et al.* (1983) se reconoce un gran número de artrópodos que pertenecen al grupo funcional de los herbívoros y que dependen de las plantas para su supervivencia.

Los herbívoros, hallados en los cultivos estudiados, fueron especialmente insectos como colémbolos, pulgones, gusano barrenador del tallo de maíz y las isocas.

De acuerdo a su comportamiento y alimentación algunos de estos organismos son considerados plagas, porque consumen o dañan los cultivos desde su implantación hasta la cosecha. La siembra directa (SD) puede aumentar la importancia y/o presencia de nuevas plagas fundamentalmente relacionadas con los primeros estadios del cultivo (Gassen, 2001; Aragón, 1998; Ríos de Saluso *et al.*, 2001). En cambio, en labranzas convencionales predominan las plagas cuyos adultos tienen capacidad para volar, tales como los pulgones, mariposas y chinches, insectos que acompañan al cultivo desde la emergencia hasta la cosecha. Si se encuentran libres de la acción de sus enemigos naturales alcanzan rápidamente el nivel de daño económico que conduce a la aplicación frecuente de insecticidas (Gassen, 1989). En SD la ausencia de labores en el suelo y la presencia de rastrojo en superficie, favorecen el desarrollo de poblaciones de organismos residentes y de ciclo biológico largo. Dentro de ellos se destacan los “gusanos blancos” (Coleoptera: Scarabaeidae), “grillos” (Orthoptera: Grillidae), “babosas” (Mollusca: Gastropoda) y “bichos bolita” (Crustacea: Isopoda). Estos organismos a diferencia de lo que ocurre en LC, dañan los cultivos durante los periodos de germinación y de plántula (Gassen, 2001).

Los rastrojos pueden cumplir diversas funciones dependiendo del área de estudio, en las zonas con una cantidad baja de precipitaciones el mismo disminuye la erosión eólica y se acumula agua. Por otra parte, en las zonas frías y con humedad, la

acumulación del rastrojo en la superficie puede producir una pobre mineralización e impedir el establecimiento del cultivo pero, en cambio, proporciona un hábitat favorable para el desarrollo de los moluscos (Christian y Miller, 1986).

Se debe tener en cuenta que el aporte de cada cultivo al rastrojo es diferente en cantidad y calidad, por ejemplo el cultivo de maíz aporta una gran cantidad entre 70, 130 y 94% más que el trigo, soja o girasol respectivamente, y de diferente calidad medida de acuerdo a la relación C/N, que en el maíz es de 63, trigo 60, girasol 45 y soja 37 (Andrade *et al.*, 1995; Falotico *et al.*, 1999). Se considera que una masa mayor de rastrojo aportada no está directamente relacionada con una cobertura mayor, ya que hay rastrojos muy voluminosos como el del maíz que posee una relación masa/área baja (Teasdale y Mohler, 2000).

Además, el rastrojo minimiza la evaporación (Gil y Garay, 2001) y la mayor infiltración se da por los biocanales o bioporos que realizan las lombrices y las larvas de ciertos artrópodos junto al de las raíces. Esto altera la capacidad del suelo para absorber el agua afectando la infiltración y la evaporación ocasionando diferentes niveles de humedad del suelo (Capítulo I). En los suelos bajo siembra directa se observaron contenidos mayores de humedad sobre todo en los primeros estadios del cultivo, ya que a medida que avanza el crecimiento del cultivo sus demandas minimizan o eliminan las diferencias de contenido de agua en el suelo entre los sistemas.

En el sudeste bonaerense y en Córdoba (Argentina) las babosas y bichos bolita empezaron a detectarse desde fines de la década de 1990 como nuevas plagas o también llamadas plagas emergentes debido al nuevo ambiente creado por la SD (Trumper y Linares, 1999; Costamagna *et al.*, 1999). Se mencionan algunos otros casos pero de importancia relativa menor como son el grillo subterráneo *Anurogryllus muticus* (Orthoptera: Gryllidae) y los miriápodos (Ríos de Saluso *et al.*, 2001).

Aragón (1998) en Argentina observó que los niveles poblacionales de las chinches (Hemiptera: Pentatomidae) y orugas defoliadoras (Lepidoptera) no aumentaron luego de la implementación de la SD, en cambio disminuyó el nivel poblacional del barrenador menor *Epinotia aporema* (Lepidoptera: Tortricidae) por efecto de una cantidad mayor de humedad del suelo. Algunas larvas de insectos del suelo aumentan con la SD por la no remoción del suelo. Otros individuos como las tucuras (Orthoptera:

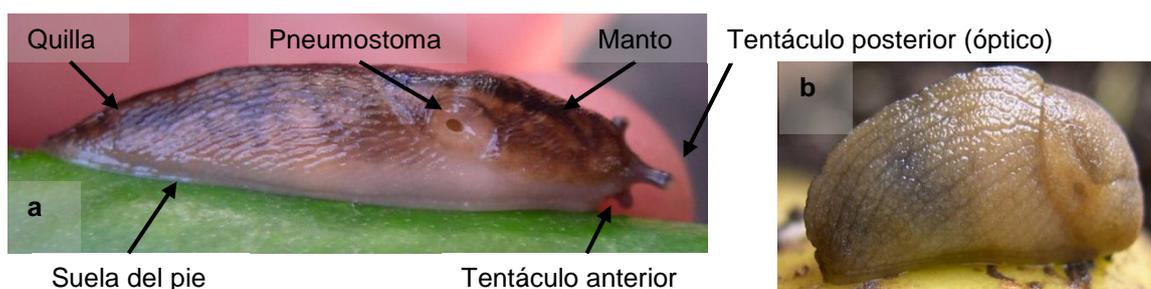
Acrididae) y hormigas (Hymenoptera: Formicidae) aumentarían con los años de SD (Gassen, 2001; Aragón, 2003).

Ante la ausencia de laboreo, las babosas se han constituido en plagas en los cultivos de soja, girasol y colza tanto en Argentina como en otras regiones del mundo (Costamagna *et al.*, 1999; Clemente, 2006; Larsen *et al.*, 2007; Garavano *et al.*, 2009).

En el sudeste bonaerense *Milax gagates* “babosa carenada” junto a *Deroceras reticulatum* “babosa gris” y a *Deroceras laeve* “babosa gris chica” (Manetti *et al.*, 2005; Clemente *et al.*, 2010) son las especies más frecuentes presentando un ciclo anual. Dañan a los cultivos en el momento de la siembra e inmediatamente después de la germinación. Previo a la emergencia, consumen el endosperma y/o el embrión de las semillas y durante la emergencia se alimentan del ápice vegetativo y de los cotiledones, reduciendo el número inicial de plantas. En ocasiones, producen defoliaciones en las plántulas que provocan deficiencias en su desarrollo o la muerte (Barrat *et al.*, 1989; Glen y Moens, 2002; Clemente, 2006; Faberi *et al.*, 2007; Tambascio, 2007).

Las babosas tienen ciertos rasgos comunes como una masa visceral dispuesta a lo largo del pie, que no está confinada bajo el manto y una concha reducida o ausente.

El cuerpo de una babosa adulta se puede dividir en cuatro partes: cabeza, manto o escudo, tronco o cola y suela del pie (Figura CV.1).



**Figura CV.1. Esquemas en vista lateral de una babosa a) Características morfológicas y b) Ejemplar contraído.**

La cabeza posee dos pares de tentáculos, el par posterior lleva ojos en sus extremos (tentáculos ópticos) mientras que el par anterior es corto y no lleva ojos (Figura CV.1a). Estos organismos tienen poca visión o carecen de ella, debido a que son activos principalmente a la noche, siendo su función principal la fotoquinesis (South,

1992). La boca se abre debajo de los tentáculos anteriores y está rodeada de labios y dos lóbulos bucales que actúan como un tercer par de tentáculos.

El manto es una protuberancia carnosa que cubre la mayor parte de la región dorsal anterior del cuerpo ofreciendo protección al complejo paleal y encerrando, cuando está presente, a la concha vestigial también llamada “limacela”. El borde anterior del manto usualmente está libre y, cuando la babosa se contrae, encierra a la cabeza y el cuello (Figura CV.1 a y b) (South, 1992). La cavidad pulmonar o pulmón se abre al exterior mediante una pequeña abertura contráctil, el pneumostoma que está ubicado sobre el lado derecho del manto (Figura CV.1a) (Barker, 2001).

En la parte media dorsal del cuerpo estos animales poseen una línea de tubérculos del tegumento, que se denomina quilla (Figura CV.1b). El pie con el que las babosas se arrastran es plano, ancho y muscular (suela del pie). Las babosas tienen forma alargada con la masa visceral ubicada dentro de la cavidad del pie.

La mayoría de las babosas son herbívoras, alimentándose de las plantas en sus diferentes estados de desarrollo, su dieta está compuesta principalmente por fracciones de material vegetal raíces, tallos, hojas, flores, frutos y semillas.

Al igual que las babosas los Isópodos se han convertido en plagas en diversos cultivos y regiones de Argentina (Manetti *et al.*, 2006; Trumper y Linares, 1999; Saluso, 2001). El orden Isopoda está representado por más de 10000 especies, muchas de las cuales son marinas (Hopkin, 1991). Las especies de vida terrestre son relativamente pequeñas y se encuentran asociadas a condiciones de humedad. El suborden Oniscidae incluye a la familia Armadillididae y contiene a una de las especies de isópodos de mayor distribución mundial como es *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804) bicho bolita.

Dentro de los isópodos, el agua representa en el proceso de colonización, el factor limitante para la supervivencia donde *A. vulgare* extrae el agua principalmente del alimento (Warburg, 1989; Warburg, 1993). Además a través de los urópodos pueden tomar agua por capilaridad cuando tocan el suelo o absorber el agua desde el vapor de agua atmosférico (Wright y Machin, 1993).

Dentro de los factores claves del éxito en la colonización del ambiente terrestre se encuentra la modificación estructural y funcional de los órganos respiratorios, como así también la eliminación de los productos nitrogenados, el cual está asociado con la

pérdida de agua. Sorprendentemente, los isópodos terrestres excretan los productos nitrogenados en forma gaseosa (amonio) a través de la pared del cuerpo, economizando así una gran cantidad de agua (Warburg, 1989).

Otro aspecto importante de estos organismos es la reproducción, puesto que durante su vida reproductiva las hembras pasan por un proceso de muda especial, en la cual ocurre la formación de un saco de incubación o marsupio, en la base de las patas del 2° al 5° segmento. Esta estructura es importante porque funciona como un “microacuario”, el cual permite el desarrollo y protege a la progenie en sus estadios iniciales (Araujo, 1994).

Son organismos de hábitos nocturnos y mantienen el balance de humedad refugiándose en lugares húmedos. Durante los períodos secos, estos organismos descienden por las fisuras del suelo y se agregan en pequeñas áreas del suelo húmedo superficial. Se ha observado que *A. vulgare* permanece en las fisuras del suelo durante el día y asciende durante la noche para alimentarse, cuando el déficit de saturación de la atmósfera es más bajo.

Los isópodos poseen siete pares de patas de estructura similar y su cuerpo se encuentra segmentado y dividido en tres regiones: cefalotórax, pereon o tórax y pleon o abdomen (Figura CV.2). El cuerpo es aplanado dorso-ventralmente, si bien en algunas especies como en *A. vulgare*, es arqueado (Glime, 2014).



**Figura CV.2. Regiones corporales, segmentos y apéndices de *Armadillidium vulgare* en vista dorso-lateral. Foto: A.J. Faberi.**

El cefalotórax está constituido por la cabeza y el primer segmento torácico presenta un par de ojos y cinco pares de apéndices sensoriales. El aparato bucal está constituido por un par de mandíbulas, maxilas y maxilipedios.

Los siete segmentos del pereon son independientes del cefalotórax (Figura CV.2). En la cara ventral de cada segmento del pereon se encuentra un par de patas (pereópodos) formadas por siete segmentos. Cada segmento del pereon está encerrado en un anillo, compuesto de dos escleritos, el dorsal arqueado y el ventral plano y menos esclerotizado (Glime, 2014).

En el pereon las hembras fecundadas desarrollan un saco de incubación o marsupio en el cual se depositan los huevos y donde eclosionan los juveniles denominados “mancas” (Figura CV.3). La parte posterior de los apéndices pleopodales están unidos al telson y son denominados urópodos. Los urópodos están fuertemente esclerotizados y en muchas especies son largos y visibles dorsalmente. Sin embargo, en *Armadillidium* spp. estos apéndices son cortos y no son visibles dorsalmente, presumiblemente por la capacidad de las especies del género de enrollarse completamente.



**Figura CV.3. Mancas marsupiales saliendo del marsupio de un adulto de *Armadillidium vulgare* en vista ventral. Foto: A.J. Faberi.**

*Armadillidium vulgare* tiene la capacidad de enrollarse formando una esfera verdadera, razón por la cual es llamado vulgarmente “bicho bolita”. La pigmentación es gris plomo, variando de claro a oscuro y en las hembras puede estar acompañada de manchas amarillas. Presenta una cabeza triangular, las antenas son cortas (Araujo *et al.*, 1996).

Los isópodos terrestres son de reproducción sexual y el ciclo biológico comienza con el apareamiento. Algunas semanas después de la fecundación, se forma el denominado marsupio. Los huevos son liberados e incubados dentro del marsupio, externamente al cuerpo materno, pero encerrados y protegidos del medio externo. En el estadio larval los isópodos poseen seis pares de patas y reciben el nombre de mancas marsupiales (Figura CV.3) (Hopkin, 1991). Éstas permanecen dentro del marsupio entre cuatro y cinco días antes de liberarse al medio externo. Cada hembra puede liberar entre 30 a 70 juveniles. Los individuos mudan su exoesqueleto periódicamente alcanzando su estado adulto entre los 12 y 24 meses dependiendo de las condiciones ambientales (Faber, 2010).

En estos organismos la longevidad es difícil de estimar, pero parecería que es de tres o cuatro años en las especies más grandes y menos de tres años en las especies más pequeñas. No obstante, la longevidad de *A. vulgare* puede ser de dos años, si bien algunos individuos pueden llegar hasta los tres años y medio (Faber *et al.*, 2011).

En general los isópodos son omnívoros, alimentándose tanto de detritos, hongos, plantas vivas o muertas y animales muertos. Sin embargo, se alimentan preferentemente del material vegetal muerto y se los considera en este sentido funcionalmente detritívoros. Algunos autores indican que los detritívoros se encuentran rodeados de alimentos en abundancia y por ello sugieren que el alimento no es un factor que influya sobre la fluctuación poblacional de los isópodos terrestres. No obstante, se ha demostrado que la calidad del alimento ocasiona cambios en la densidad poblacional (Zimmer y Topp, 2000; Faber *et al.*, 2014). Los sitios en los cuales hay una abundancia mayor de Dicotiledóneas los individuos crecen más rápido que en aquellos sitios en los cuales hay predominio de Monocotiledóneas (Hassall y Dangerfield, 1990; Faber *et al.*, 2014), pudiendo ser ésta una de las causas que ha permitido que en la actualidad aparezca como plaga en el sudeste bonaerense.

En el sudeste Bonaerense, desde 1997 se observan daños ocasionados por *A. vulgare* en los cultivos de soja y girasol. Su incidencia en los cultivos ha aumentado y en la actualidad es una especie que se monitorea antes de la implantación de los cultivos. En ocasiones, producen defoliaciones en las plántulas que provocan deficiencias en el desarrollo o la muerte (Manetti *et al.*, 2006; Mastronardi, 2006).

Debido a la aparición repentina y a la incidencia cada vez mayor de estos organismos como plagas, la Argentina es el país que mayores esfuerzos ha realizado para aportar herramientas de manejo de la plaga.

En los últimos años se ha incrementado la importancia del colémbolo de la alfalfa *Sminthurus viridis* Linnaeus (Collembola: Sminthuridae) en los cereales de invierno. La especie presenta un conjunto de características que los separa fácilmente del resto de los insectos como es la presencia de un sistema excretor celómico con ausencia de tubos de Malpighi. Por otra parte, poseen dos características únicas que los definen como grupo: un órgano saltador o furca situado ventralmente en el cuarto segmento abdominal y un tubo ventral en el primer segmento abdominal, relacionado con la regulación hídrica el cuál además puede tener funciones de órgano adhesivo (Arbea y Blasco-Zumeta, 2001).

Estos organismos se reproducen sexualmente y depositan sus huevos de marzo a abril. Eclosionan luego de las lluvias de otoño. En relación a la temperatura y la disponibilidad de humedad el número de generaciones es de 4 a 5 entre el otoño y la primavera. Cada generación dura de 3 a 5 semanas y en ese periodo cada hembra ovipone tres veces. Los huevos de invierno se colocan en las grietas húmedas en la superficie del suelo, por lo general bajo la vegetación o rastrojo en grupos de 20 a 60. Los huevos están protegidos por una cubierta dura producida por las hembras. Tanto las ninfas como los adultos se alimentan de las hojas de las leguminosas, colza y de los cultivos de raigrás, trigo y cebada.

La especie se alimenta de las hojas inferiores de las plantas desde el suelo y llega hasta el tejido de las hojas inferiores. Consume las células del mesófilo efectuando un raspado, evitando las nervaduras y dejando solamente la epidermis de las hojas. En infestaciones severas el daño puede matar a las plántulas. Los cultivos son más susceptibles a los daños en sus primeros estadios de desarrollo.

Otros organismos que se encuentran en la parte aérea de los cultivos son los áfidos o pulgones (Hemiptera: Homoptera; Aphididae). Son insectos polimórficos, pudiéndose encontrar formas ápteras, aladas, sexuales y partenogenéticas. Los pulgones perjudican el cultivo porque succionan la savia del floema, inyectan sustancias tóxicas que puede provocar la muerte de los tejidos, excretan melaza y son transmisores de virus.

El “pulgón verde de los cereales” *Schizaphis graminum* puede encontrarse desde la emergencia hasta la encañazón del cultivo en el envés de las hojas. Puede ocasionar daños directos por su alimentación y por inyectar saliva tóxica que produce clorosis y posterior muerte de la hoja. Cuando colonizan tempranamente el cultivo producen la muerte de las plántulas.

El “pulgón amarillo de los cereales” *Metopolophium dirhodum* aparece desde el macollaje hasta la encañazón y se ubican preferentemente en el envés de las hojas intermedias del cultivo. Los daños que producen, al succionar el floema de la planta, son el amarillamiento y reducción de la altura de las plantas (Imwinkelried y Frana, 1982). Esta especie es vector del virus del enanismo de la cebada (BYDV), que produce serias pérdidas en el cultivo de trigo y cebada.

El “pulgón ruso del trigo” *Diuraphis noxia* se encuentra durante todo el ciclo del cultivo, si bien sus poblaciones se incrementan desde encañazón a espigazón. En la planta se ubica en la base de las hojas nuevas o en la espiga en formación. Puede producir enrollado longitudinal de hojas y por la saliva tóxica, presentan bandas longitudinales blancas (con temperaturas templadas) o rojizas (con temperaturas bajas).. Las poblaciones expresan su mayor potencial biótico en primaveras secas cuando ocasionan los mayores daños.

El “pulgón de la avena” *Rhopalosiphum padi* se encuentra desde el estado de plántula hasta la espigazón del cultivo, cuyas colonias se ubican en las partes interiores del tallo y primer par de hojas, si bien puede llegar a la espiga. Puede ocasionar clorosis de hojas, retardos en el crecimiento y transmisión del virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV).

El “pulgón de la espiga” *Sitobion avenae* se encuentra durante la encañazón del cultivo, incrementando sus poblaciones en espigazón, ubicándose sobre el raquis de las

espigas.. Se alimentan en la base de las espiguillas, causando necrosis, fallas en el llenado de granos e inhibición de la formación de granos afectando el rendimiento.

Por otra parte, el cultivo de trigo puede ser atacado ocasionalmente por larvas de lepidópteros, vulgarmente llamadas “isocas”, que lo afectan en las últimas etapas de su desarrollo, desde la espigazón hasta la madurez. Todas las especies pertenecen a los Noctuidae que constituye una de las tres familias más importante de los Lepidoptera, no solo por su diversidad y numerosidad, sino también por su extraordinaria importancia económica (Pastrana, 2004). Una de ellas es la “isoca militar verdadera”, *Pseudaletia adultera* Schaus que causa defoliación y es más perjudicial durante el estado de formación del grano. Por el contrario, cuando los ataques se producen cuando el proceso de llenado de granos se ha completado, se acelera la madurez y la pérdida de humedad del cultivo. Si bien estas larvas no atacan directamente a los “granos” pueden cortar el tallo por debajo de la espiga, ocasionando pérdidas grandes en el rendimiento (Imwinkelried y Frana, 1982). Como es una especie polífaga si bien predomina en el trigo, los hospedantes son numerosos: maíz, avena, arroz, cebada, alpiste, lino, alfalfa, varias hortalizas (Manetti y Vincini, 2005) y caña de azúcar. Otra es la “isoca desgranadora”, *Faronta albilinea* Hübner que se alimenta de los granos lechosos y pastosos. Las larvas son de color variable, desde verde claro a oscuro, con una banda blanca a cada costado del cuerpo. Empupa en el follaje utilizando restos vegetales (Gallez y Miravalles, 1996).

Los adultos de *P. adultera*, comúnmente llamados “polillas”, son de hábitos crepusculares, nocturnos, y viven aproximadamente dos semanas. Como es una especie típicamente defoliadora no daña a los granos de las espigas. Los daños que produce se deben a la reducción del área fotosintética provocando pérdidas en el rendimiento (Aragón, 1996). Devora la lámina de las hojas desde el borde hacia la nervadura media dejando vestigios de la lámina (Abot y Rizzo, 1988). En el cultivo de trigo esta especie generalmente se presenta como plaga en noviembre, durante el periodo de floración.

Los lotes de trigo más infestados son aquellos sembrados sobre rastrojos de maíz aunque también se presentan en lotes con rastrojos de soja (Aragón, 1996; Aragón, 2005).

Ahora bien desde que la planta posee ocho hojas hasta la aparición de la panoja se encuentra el “barrenador del tallo” *Diatraea saccharalis* Fabricius (Lepidoptera:

Pyralidae), principal y más generalizada plaga del maíz. Las hembras desovan sobre las hojas, preferentemente en las superiores, formando grupos de huevos imbrincados con 10 a 50 huevos cada uno. Las larvas durante los dos o tres primeros días de vida se alimentan de los tejidos foliares introduciéndose luego en la nervadura central ó en el tallo, de acuerdo al desarrollo de la planta. Las isocas que emergen pueden dañar el brote terminal provocando la muerte de la plántula, ó alimentarse de las hojas tiernas del cogollo haciendo pequeños orificios de modo tal que cuando las hojas están totalmente desarrolladas se observa una línea de orificios en forma transversal a las nervaduras (Nemirovsky y Parodi, 1970).

Cuando el ataque se produce en plantas desarrolladas, las larvas penetran en el tallo donde se alimentan y forman galerías generalmente longitudinales. Una misma larva puede barrenar dos o tres entrenudos y en una misma planta pueden hallarse varias larvas. Éstas pueden también penetrar a las espigas a través del pedúnculo o llegar desde el exterior atravesando las “chalas”. Como consecuencia del daño de esta plaga, se produce el debilitamiento de los tallos que facilita su quebrado a distintas alturas.

## **OBJETIVO**

Evaluar la presencia de los organismos perjudiciales, nivel de daño y de la fauna benéfica durante el desarrollo de los cultivos de trigo y maíz bajo los sistemas de labranza convencional y siembra directa.

## **MATERIALES Y METODOS**

Se realizaron muestreos en lotes agrícolas comerciales ubicados en el partido de Balcarce durante los ciclos agrícolas 1 (2002/03), 2 (2003/04) y 3 (2004/05). Los lotes estuvieron destinados a la siembra de trigo y maíz bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD). En el ciclo agrícola 1 y en el cultivo de trigo, se tomaron muestras, en 4 lotes bajo LC y en 5 bajo SD, y en el cultivo de maíz en 2 lotes bajo LC y en 5 bajo SD. En el ciclo agrícola 2 y 3 en cada cultivo y año se realizaron muestreos en 4 lotes bajo LC y en 4 bajo SD.

Los lotes se ubicaron a una distancia menor a 50 km de radio con epicentro en la estación experimental de la Unidad Integrada Balcarce (UIB) Facultad de Ciencias Agrarias – EEA INTA Balcarce (37°45'45" S, 58°18'3" W). La superficie de cada

uno ellos varió entre 30 y 50 ha y los lotes bajo SD tuvieron una historia de uso de al menos 5 años (Figura 3.1).

En los lotes bajo SD se realizó un muestreo a la plantación del cultivo denominado de observación directa (OD), utilizando un marco de metal de 0,50 m x 0,50 m (0,25 m<sup>2</sup>) dentro del cual se revisaron los residuos, la superficie del suelo y sus grietas determinando el número de organismos, su tamaño y/o estado de desarrollo (Figura CV.4).



**Figura CV.4. Muestreo visual mediante cuadrante (0,5 x 0,5m) en lotes bajo siembra directa.**

Conjuntamente con esta observación se tomaron muestras de rastrojo de 0,25 m<sup>2</sup> para determinar los niveles de rastrojo existente (kg MS ha<sup>-1</sup>).

En los lotes en SD y LC el muestreo se realizó sobre la parte aérea de las plantas.

En cada uno de los lotes en SD y LC se realizaron muestreos quincenales a partir de la emergencia de los cultivos (trigo: Julio-Agosto; maíz: Octubre-Noviembre) y hasta la cosecha de ellos (trigo: Diciembre-Enero; maíz: Marzo-Abril).

La observación de los cultivos, la presencia de plagas y el daño producido por los organismos se realizó mediante muestreos quincenales desde la emergencia hasta la cosecha.

En 10 estaciones de muestreo y en cada una de ellas se tomaron 10 plantas, se determinó la densidad de los organismos plaga o benéficos y el nivel de daño.

Para determinar la presencia de la “isoca militar verdadera” *P. adultera* y/o “desgranadora” *F. albilinea* se efectuaron 20 golpes mediante la red de arrastre. En el caso del “barrenador del tallo de maíz” *D. saccharalis* se realizó el recuento de las plantas con las posturas (10 estaciones de muestreo al azar de 10 plantas cada una) y se determinó el porcentaje de tallos barrenados.

Se compararon dos tipos de muestreo, cuadrantes y trampas de caída, y se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson con el objeto de observar el grado de asociación lineal entre los números de individuos capturados y se realizó el *test* de hipótesis ( $\alpha=0,05$ ).

Se realizó un *test* t para comparar el número de individuos capturados con la red de arrastre, las trampas de caída (*pitfall*) y porcentaje de defoliación en hoja bandera

## RESULTADOS y DISCUSIÓN

En la Tabla CV.1 se observan los valores promedios de MS de los lotes muestreados durante los años de estudio de los cultivos de trigo y maíz. Los valores superaron ampliamente a los requeridos para cumplir con el 30% de cobertura (Gregory, 1982; Unger *et al.*, 1991; Abril *et al.*, 2005) y no aumentaron con el transcurso del tiempo por acumulación de años en siembra directa. Además de los aportes producidos por la rotación de los cultivos hubo una degradación del suelo por parte de los organismos detritívoros.

**Tabla CV.1. Materia seca (MS) (kg ha<sup>-1</sup>) de los residuos en superficie en el momento de la siembra de trigo y maíz (Julio-Agosto y Octubre-Noviembre respectivamente) en los ciclos agrícolas 2002-03, 2003-04 y 2004-05.**

	2002-03	2003-04	2004-05
	----- kg MS ha <sup>-1</sup> -----		
	---		
Trigo (J-A)	3293	5067	2333
Maíz (O-N)	4027	5509	4002

Los valores indicaron un elevado grado de cobertura en el suelo, la cual es definida como la proyección del área del material de cobertura por unidad de superficie de suelo (Teasdale y Mohler, 2000).

Los valores de rastrojo en superficie dependen de los restos de la cosecha de los cultivos anteriores los cuales se van acumulando a través del tiempo hasta su degradación. Resultados similares obtuvieron Tanaka *et al.* (2007) quienes observan que el cultivo de trigo aporta con sus rastrojos entre 2300 a 3400 kg de MS por año, y una cantidad mayor el maíz entre 3350 y 6620 kg de MS por año.

Como se observa en la Tabla CV.2 la frecuencia de aparición de las babosas y los bichos bolita en cada lote de cultivo y en cada año fue baja 3-4 de trece lotes (23,1 y 30,8 % respecto del total).

**Tabla CV.2. Número de babosas (Bab) y bichos bolita (Bb) m<sup>-2</sup> en el momento de la siembra del cultivo de maíz y trigo en los ciclos agrícolas 2002/03, 2003/04 y 2004/05.**

		2002/03		2003/4		2004/05	
		-----ind. m <sup>-2</sup> -----					
Lote		Bab	Bb	Bab	Bb	Bab	Bb
MAÍZ	1	0,8	13,2	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0,4	0	0	0	0	0
	4	0,4	14,4	0	0	0	0
	5	5,4	2				
TRIGO	1	0	0	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	1
	3	3	1	2	0,4	0	0
	4	0	1	0	0	0	0
	5	0	0				

	0 individuos
	Baja población
	Alta población

La especie de isópodos encontrada fue únicamente y tal como se esperaba: *A. vulgare* “bicho bolita”. Las especies de babosas fueron *D. reticulatum* “babosa gris”, *D.*

*laeve* “babosa gris pequeña” y *M. gagates* “babosa carenada” (Figura CV.6) tal como se reporta en Manetti *et al.* (2005).



**Figura CV.6. Especímenes adultos de a) *Deroceras reticulatum*, b) *Milax gagates*, c) *Deroceras laeve* y d) *Armadillidium vulgare*.**

Cuando se compararon las diferentes estaciones climáticas (Anexo II) se observó que en 2002 la estación más lluviosa fue la primavera y la menos lluviosa el invierno.

En relación a estas condiciones y en el caso de las babosas se encontró solo en un lote valores que superaron el umbral de daño económico (UDE), 2-4 babosas  $m^{-2}$  (Clemente *et al.*, 2006) y para los bicho bolita *A. vulgare* en ningún lote se alcanzó el UDE 60 ind  $m^{-2}$  (Faber *et al.*, 2014). Por otra parte, se debe tener en cuenta que el 2002 fue el año más lluvioso de los últimos 40 años (Tabla AII.6 y Figura AII.4, Anexo II) superando en un 44,6% a la media histórica (1971-2010) en cambio, el 2004 fue un 15,1% inferior a la media histórica.

Se detectaron daños en 3 de 5 lotes de maíz en el primer año (2002/03), con niveles bajos de defoliación (<10%, estadio V2) en el 30% de las plantas y en el lote 5, niveles más elevados de defoliación alcanzando el 90% de las plantas daño leve a moderado (<10 y hasta el 30% defoliación, estadio V2). Para el caso del trigo se

observaron valores muy bajos de daño en los dos primeros años y en muy pocos lotes. En ninguno de ellos se observaron pérdidas de plantas por daño de babosas.

Además de los datos obtenidos de los muestreos con los cuadrantes, se observó la aparición de los mismos organismos con los datos obtenidos mediante la utilización de trampas de caída (*pitfall*) (Capítulo III). En las trampas hubo especies nuevas o especies en LC que se hallaban en muy baja densidad. No obstante con la aparición de un nuevo escenario de manejo de la agricultura está aumentando paulatinamente la densidad e importancia de las babosas y bichos bolita (Bocca *et al.*, 2012; Salvio *et al.*, 2014).

En el cultivo de maíz, cuando se compararon los dos tipos de muestreo, cuadrantes y trampas de caída, los resultados mostraron una correlación positiva para babosas y bicho bolita con un  $r$  de 0,7040 y 0,5862 respectivamente, en ambos casos significativos ( $p=0,0072$  y  $p=0,0352$ ). En el cultivo trigo se encontró algo parecido, asociación positiva 0,8150 y 0,576 para babosas y bichos bolita respectivamente siendo significativos con  $p=0,0007$  y 0,041.

Durante el desarrollo del cultivo de trigo y en los tres años, se hallaron esporádicamente algunos pulgones observándose *R. padi* y *M. dirhodum* en 4 de los 9 lotes (2 en SD y 2 en LC) durante el primer año (2002). Asimismo se detectó la presencia del colémbolo de la alfalfa *S. viridis* en una densidad muy baja que ocasionó un roído leve en las primeras hojas de las plantas. En los demás años su presencia en las muestras fue nula, probablemente debido a la intensidad de las lluvias caídas (Tabla AII.7, Anexo II).

En el segundo y tercer año y al final del ciclo del cultivo de trigo se utilizó la red de arrastre ante la presencia de *P. adultera* y *F. albilinea*. El momento coincidió con el llenado de los granos. Los datos de dicho muestreo se analizaron conjuntamente con los datos correspondientes a las trampas de caída (Capítulo III).

En el *test t* de comparación de los métodos de captura de los individuos y porcentaje de defoliación en hoja bandera, no se observaron diferencias en ninguno de los años entre los sistemas de labranza (Tabla CV.3).

Los datos de las trampas de caída utilizados fueron aquellos en los cuales se verificó daño en el cultivo, quedando limitados a dos o tres momentos que coincidieron con el fin del ciclo (llenado de grano hasta la cosecha).

**Tabla CV.3. Porcentaje de daño en hoja bandera, número de isocas (*Pseudaletia adultera*) en siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) en el cultivo de trigo (2003-2004).**

	<i>Test t</i>	SD	LC
<b>Año 2003</b>			
Daño hoja Bandera (%)	$p=0,6421$	18,5	25,0
Número isocas ( <i>pitfall</i> ) (capturadas en 15 días)	$p=0,3557$	100,73	540,08
Número isocas (red de arrastre/20 golpes)	$p=0,8001$	12,0	10,18
<b>Año 2004</b>			
Daño hoja Bandera (%)		0	0
Número isocas ( <i>pitfall</i> ) (capturadas en 15 días)	$p=0,9895$	49	49,75
Número isocas (red de arrastre/20 golpes)	$p=0,0167$	0,857	5,56

Si bien en el año 2003 los valores promedios con las trampas *pitfall* y entre los sistemas fue diferente, no se detectaron diferencias, debido a la dispersión observada de los individuos capturados. En el 2004 no se detectaron niveles de daño en hoja pero en cambio se verificó la presencia de *P. adultera* sin diferencias entre los sistemas.

En el cultivo de maíz ocurrió algo semejante al del trigo, observándose registros escasos de insectos y en un solo lote se verificó la presencia del barrenador del tallo de maíz *D. saccharalis*.

## CONCLUSIONES

- En lotes bajo siembra directa se observó una proporción baja de lotes con babosas y bichos bolita.
- Se halló una asociación positiva entre los métodos de muestreo (cuadrantes y trampas de caída) tanto con los bichos bolita como con las babosas.
- En el cultivo de trigo y en el de maíz se observó un nivel bajo de daño producido por las babosas.
- En el cultivo de trigo no se encontraron diferencias entre la SD y LC ante el ataque de *P. adultera*.
- La presencia de pulgones en trigo fue escasa en ambos sistemas de labranza

- La presencia de *D. saccharalis* en maíz fue mínima y por ende no se encontraron por ende no se encontraron enemigos naturales.

## **9. DISCUSIÓN GENERAL**

## 9. DISCUSIÓN GENERAL

El conocimiento del impacto producido en el sistema de labranza por los cambios como el agregado de compuestos exógenos, fertilizantes y los agroquímicos, sumado a los efectos de la no remoción del suelo y a la presencia de rastrojo en la superficie permitirá alcanzar un nuevo paradigma en la producción sustentable de los alimentos (FAO, 2011).

La agricultura de conservación produce cambios que afectan los servicios ecosistémicos incluyendo la regulación del clima a través del secuestro de carbono, la emisión de gases de invernadero y la regulación y provisión de agua a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Palm *et al.*, 2013; MEA, 2015). Otros beneficios aportados por los servicios ecosistémicos están relacionados al biocontrol de plagas y la polinización de los cultivos (Villarino *et al.*, 2014)

Los principales cambios que se producen en la sustitución de los sistemas de labranza tradicionales ocurren en los primeros centímetros del suelo, donde el rastrojo en la superficie provee la energía y el sustrato necesario para la actividad de la biota del suelo. Se estima que su acción está restringida a los primeros centímetros del suelo (5 a 10 cm) sin evidencias de que se produzca a mayor profundidad (Verhulst *et al.*, 2010).

Las prácticas de manejo modifican el ambiente edáfico alterando la actividad de los organismos benéficos y de las plagas actuales o potenciales mediante la variación de las proporciones de los individuos. Ello se debe a que el tipo de labranza afecta las condiciones abióticas del sistema como la temperatura y la humedad del suelo.

En el primer año de muestreo no se realizaron mediciones de humedad y de temperatura del suelo. A partir del segundo ciclo, en el trigo se observó mayor contenido de humedad del suelo en los lotes bajo siembra directa fundamentalmente en los primeros estadios de desarrollo del cultivo. En el año 2003 se determinó un contenido mayor hasta el 4<sup>to</sup> momento de muestreo (60 días) y en el año 2004 hasta el 3<sup>er</sup> momento de muestreo (45 días). Luego de estos periodos no se observaron en el contenido de humedad, tendencias similares entre los sistemas. En coincidencia a los reportes efectuados por otros autores (Ferrerías *et al.*, 1999) los cuales manifiestan que el requerimiento de agua por parte de los cultivos eliminaría las diferencias que se pueden hallar entre los sistemas de labranza (Figura CI.2, Capítulo I). Estas diferencias pueden ser superiores a mayor profundidad del suelo (Dardanelli, 1998; Ferrerías *et al.*, 1999).

Se debe destacar que entre sistemas no se hallaron diferencias significativas durante 2003 y 2004 ( $p = 0,098$  y  $p = 0,109$  respectivamente) y los valores mayores de humedad se hallaron en SD en comparación con los de LC.

También, en el cultivo de maíz se encontró un contenido mayor de humedad en el suelo en SD en 2003, difiriendo significativamente con respecto a la LC 18,9 y 15,2 % respectivamente ( $p = 0,0002$ ). En 2004, no se hallaron diferencias en el contenido de agua al momento de la siembra, similarmente a lo hallado por Creus *et al.* (1998) y Domínguez *et al.* (2001). No obstante, la humedad del suelo fue mayor en LC en las dos últimas fechas de evaluación ( $p = 0,035$ ), probablemente debido a la irregularidad espacial de las lluvias estivales.

Esta condición de mayor humedad influyó en la presencia de algunos organismos como los isópodos (bichos bolita). En Tabla 9.1 se halló la mayor densidad de estos organismos en SD en ambos cultivos. Los moluscos (babosas) los cuales además de la humedad requieren un refugio, se hallaron únicamente en los lotes de SD en muy baja densidad (datos que no están presentados en la Tabla CIII.1, Capítulo III).

**Tabla 9.1. Promedio de la densidad activa, capturados cada 15 días (individuos por trampa pitfall) bajo siembra directa y labranza convencional. Extraído de la Tabla CIII.1, Capítulo III.**

	Trigo		Maíz	
	LC	SD	LC	SD
Isopodos	9.52	117.68	5.45	65.90

De los datos obtenidos en este trabajo (Capítulo I) y teniendo en cuenta los reportados por otros autores Rizzalli (1998) y Fabrizzi *et al.* (2005) las diferencias halladas en la temperatura del suelo disminuyeron a medida que el cultivo se desarrolló y es el área foliar la encargada de interceptar la mayor parte de la luz, perdiendo importancia el color diferente del suelo libre o con rastrojo.

En el cultivo de maíz, las temperaturas del suelo no mostraron diferencias significativas ( $p = 0,273$ ), debido probablemente a las lluvias caídas durante el desarrollo del cultivo (Anexo II) que incrementó el contenido de humedad. En consecuencia, resulta importante el manejo de los residuos de los cultivos, los cuales podrían mitigar el impacto de las olas de calor, debidas al cambio climático mediante el

aumento del albedo. Este hallazgo es de vital importancia para el desarrollo de estrategias de manejo sustentable del suelo y para el diseño de medidas de ingeniería climática (Davin *et al.*, 2014).

Por otra parte, además de los efectos del rastrojo en superficie, se debe considerar la acción mecánica de las labores sobre los organismos que habitan en el suelo y su superficie.

Las labranzas alteran las poblaciones de la meso y macrofauna del suelo en diferentes formas dependiendo fundamentalmente de la función que cumplen en dicho ambiente. Por ejemplo, los detritívoros disminuyen su diversidad y densidad al igual que, aquellos que encuentran un refugio ante condiciones ambientales adversas o a la presencia de sus depredadores (Klavdivko, 2001; Palm *et al.*, 2014).

Los organismos extraídos de las muestras de suelo (Capítulo II) pertenecieron a dos Phyla: Annelida y Arthropoda. En las muestras realizadas entre J-A (siembra de trigo) y O-N (siembra de maíz) durante los años 2002, 2003 y 2004 el 55,2 % y el 59,7 % fueron anélidos, resultados similares fueron encontrados por Brévaults *et al.* (2007).

Dentro de los artrópodos, los insectos, fueron los más abundantes en ambos sistemas y variaron en un rango 38 – 50,15 % bajo SD y 47,1 – 60,2% bajo LC, en ambas estaciones y en todos los años. Al igual que Brévaults *et al.* (2007) los insectos estuvieron representados por los himenópteros, coleópteros (carábidos, estafilínidos, escarabeidos y curculiónidos) y dípteros. Estos resultados indicaron un bajo impacto de las labores en la densidad de la macrofauna (Figura CII.1, Capítulo II) en coincidencia con Wardle (1995) quién reporta que los organismos más grandes son más sensibles a las labores que los organismos más pequeños.

En los 3 años de estudio la cantidad de lombrices no fue afectada por los sistemas de labranzas ( $p > 0,05$ ) (Figura CII.1., Capítulo II) representando el 55,2% del total de los individuos (Tabla CII.1, Capítulo II). Las lombrices junto con los artrópodos representaron el porcentaje mayor de la macrofauna del suelo al igual que los resultados reportados por Fragoso y Lavelle (1982), Brévaults *et al.* (2007) y Capítulo II).

En coincidencia con Momo *et al.* (1993) y Wyss *et al.* (1992) la densidad de las lombrices no fue afectada por la acción de las labores agrícolas. En el sudeste bonaerense, de acuerdo a Domínguez G. *et al.* (2004) esta situación puede explicarse por la baja agresividad de las labores.

Por otra parte, Ernst y Emerling (2009) consideraron que puede haber variación en el número y especies de las lombrices y su comportamiento de acuerdo al tipo de labores (epigeas, anecicas o endogeicas).

De acuerdo a Decaëns (2010) las lombrices modifican su supervivencia, crecimiento y reproducción, mediante los cambios de la temperatura y humedad y por la aplicación elevada de fitosanitarios, variables que son modificadas fuertemente por la SD.

En la Tabla 9.2 se indican los milímetros caídos durante el desarrollo del cultivo de trigo (A-D) y del cultivo de maíz (N-A), en los cuales se observó que solamente el año 2004/05 presentó valores inferiores a la media de 40 años (1971-2010).

**Tabla 9.2. Lluvias (mm) durante el desarrollo del cultivo de trigo y maíz, partido de Balcarce, promedio de 40 años y los años de estudio (extraídos del Anexo II).**

	Trigo A-D	Maíz N-A
1971-2010	395,3	559,7
2002/03	673,5	650,3
2003/04	489,6	605,7
2004/05	338,5	338,6

En la actualidad se conoce que en el sudeste bonaerense y en SD se encuentran en mayor frecuencia especies adaptadas como *Octolasion cyaneum* (Annelida: Oligochaeta, Megadrilli), que es una especie endogeica altamente sensible a niveles bajos de materia orgánica y a las perturbaciones causadas por los sistemas de labranza convencional (Momo y Falco, 2010; Salvio *et al.*, 2013).

Los enquitreidos (Annelida: Oligochaeta, Enchytraeidae) fueron los integrantes de la mesofauna que presentaron un comportamiento diferente a los demás organismos debido a que las labranzas aumentaron su número (Figura CII.1e, Capítulo II). Ello se debió a la distribución, tamaño de los poros y a la disponibilidad de los residuos orgánicos en profundidad producidos por las labranzas. Los datos encontrados en este trabajo fueron coincidentes con los de otros autores (House y Parmelle, 1985; Lägerlof *et al.*, 1989; López *et al.*, 2005; Gizzi *et al.*, 2009). Sin embargo, Gupta y Yeates (1998)

encuentran que los enquitreidos viven entre los agregados del suelo y no son afectados por los disturbios ocasionados por las labores agrícolas.

Los diplópodos (Myriapoda: Diplopoda) fueron encontrados en mayor proporción en SD aunque no se detectaron diferencias significativas entre los sistemas. Estos organismos considerados detritívoros se ven favorecidos por el tipo de sistema labranza ya que encuentran más alimento y refugio. Estos resultados fueron coincidentes con los hallados por Wolters y Ekschmitt (1997), Ríos de Saluso *et al.* (2001), Brévault *et al.* (2007), (Figura CII.1d, Capítulo II). Se lograron resultados similares evaluando la densidad activa de los diplópodos durante todo el desarrollo de los cultivos (Tabla CIII.1, Capítulo III). Por otra parte, el número de estos organismos fue mayor en SD en el trigo durante en los años 2003-04 y 2004-05 ( $p < 0,001$  y  $p < 0,005$ ) y en maíz en el ciclo (2003-04) ( $p < 0,05$ ).

Otro grupo de detritívoros que viven en las condiciones de la SD son los crustáceos isópodos, los cuales se encontraron en valores muy bajos en las muestras de suelo (Tabla CII.1, Capítulo II). Sin embargo, se hallaron en el monitoreo realizado mediante los cuadrantes (Tabla 8.1.) y en las trampas de caída (Tabla CIII.1, Capítulo III) mostrando en la mayoría de los casos diferencias significativas. En coincidencia con Lietti *et al.* (2008) cuando se analizaron estos resultados se puso de manifiesto la importancia de integrar los diferentes métodos de estudio (Capítulos II y III).

Por otra parte, debe indicarse que aún en LC se hallaron isópodos en las trampas de caída (Tabla CIII.1, Capítulo III). Este hallazgo podría deberse a la cercanía de los lotes bajo SD, teniendo en cuenta que en el sudeste bonaerense el 70% su superficie se encuentra bajo este sistema. Es evidente que los componentes específicos de la estructura del paisaje, por ejemplo áreas perimetrales no laboreadas con su flora espontánea, tienen un efecto significativo en determinados grupos de artrópodos (isópodos) los cuales no necesariamente afectan a la regulación de las plagas (Mitchell *et al.*, 2014).

El grupo de los arácnidos predadores es considerado como uno de los más sensibles a las labores (Holland y Reynolds, 2003; Kladivko, 2001) y su abundancia se ve favorecida por el rastrojo en superficie (Samu *et al.*, 1999; Sunderland y Samu, 2000). En las muestras de suelo las arañas (Arthropoda: Arachnida) tuvieron una participación escasa, variando el porcentaje total entre 0,7 y 1,2% semejantes entre los

sistemas de labranzas. En cambio, en el muestreo de trampas de caída se capturaron más individuos y se hallaron diferencias entre los sistemas a favor de la SD en los ciclos 1 y 3 (2002/03 y 2004/05) de maíz ( $p < 0,05$  y  $p < 0,01$ , respectivamente), y solamente en algunas muestras en los ciclos 1 y 3 de trigo se detectaron interacciones ( $p < 0,001$  y  $p < 0,05$ , respectivamente). En este estudio y en concordancia con los reportados por Castro *et al.* (1996) y Lietti *et al.* (2008) los sistemas de labranza no afectaron el número de arañas.

Entre los insectos, se capturaron tucuras y grillos (Orthoptera: Acrididae y Gryllidae). Este grupo de herbívoros o fitófagos se presentó en niveles más elevados en SD (Tabla CIII.I, Capítulo III). Resultados similares fueron reportados por otros autores (Aragón, 1997; Gassen, 2001; Lietti *et al.*, 2008) y en algunas situaciones y/o regiones alcanzaron el *status* de plaga en la parte aérea de los cultivos en el caso de los acrididos (tucuras) y en la implantación de los cultivos por parte de los grílidos (grillos) (Aragón, 1997; Gassen, 2001; Torrusio *et al.*, 2005).

En este estudio y en relación a los hallazgos efectuados por Aragón (1997) y Errouissi *et al.* (2011), los lepidópteros y los himenópteros tuvieron una respuesta similar. Se encontraron niveles elevados en LC comparados con los niveles hallados en SD.

En concordancia con Holland y Reynolds (2003) la distribución de los coleópteros difirió en los lotes, los cultivos y en la mayoría de los años, debido a la heterogeneidad en su disposición. En general la densidad activa de estos organismos no fue afectada por el sistema de labranza y lo mismo ocurrió con las muestras de suelo (Tabla CII.1, Capítulo II).

Los carábidos son insectos predadores frecuentes en los cultivos agrícolas (Marasas *et al.*, 2001; Marasas, 2002; Lietti *et al.*, 2008; Errouissi *et al.*, 2011). En general la literatura indica que la mayor densidad se alcanza en los sistemas de labranza mínima (Stinner y House, 1990; Robertson *et al.*, 1994; Andersen, 1999; Marasas *et al.*, 2001; Marasas 2002; Holland y Reynolds, 2003; Errouissi *et al.*, 2011). Sin embargo en este estudio, los carábidos se comportaron de un modo diferente entre los sistemas de labranza y el tipo de cultivo, en concordancia con lo observado por Cividanes (2002).

Lietti *et al.* (2008) indican que existen diferentes razones para explicar por qué la densidad de los carábidos es menor en sistemas con LC. Las labores producen

ruptura del hábitat e indirectamente disminuyen la disponibilidad de las presas, como consecuencia se produce la muerte de los organismos. En este estudio y en el cultivo de trigo durante los 2 primeros ciclos (Tabla CIII.1, Capítulo III), la densidad de los carábidos fue mayor en LC conjuntamente con una cantidad mayor de larvas de lepidópteros. Esto puso en evidencia la existencia de una cantidad mayor de presas y por ende también de los predadores, fundamentalmente especies de mayor tamaño y con mayor capacidad de recolonización de los suelos laboreados (Tabla CIV.1, Capítulo IV). En coincidencia con los estudios de Marasas *et al.* (1997), Holland y Luff (2000) y Marasas *et al.* (2001) se capturaron más individuos en los cultivos de trigo (A-D) con respecto a los de maíz (N-A) (Tabla CIV.1, Capítulo IV).

Algunas especies de carábidos se adaptaron mejor a la LC porque el sistema es más abierto al no poseer rastrojo en la superficie, permitiendo mayor desplazamiento de los individuos y por ende, una captura mayor. Lo mismo ocurrió con la riqueza de las especies (Capítulo IV), la cual fue mayor en LC en el segundo ciclo de trigo y en el primero de maíz ( $p < 0,01$ ) coincidiendo con la densidad activa (Tabla CIV.1, Capítulo IV). Se hallaron valores elevados de equitatividad ( $J$ ) y no hubo diferencias entre los sistemas ( $p > 0,05$ ). Estos resultados son similares a los hallados por Menalled *et al.* (2007) y Fernández Martins *et al.* (2009).

Las distintas especies de carábidos poseen diferentes requerimientos y susceptibilidades a los disturbios del suelo debido a su tamaño, ciclo de vida y alimentación (Cárcamo *et al.*, 1995; Baguette y Hance, 2007). Al igual que los resultados obtenidos por Lietti *et al.* (2008) las especies halladas en este trabajo fueron *Calosoma sp.*, *Scarites anthracinus* y *Trirammatus striatulus* de tamaño corporal grande, representando entre el 46 a 69% en LC y entre 66 a 78% en SD. *Scarites anthracinus* fue la especie más representativa en ambos sistemas de labranza y no presentó diferencias entre los sistemas ( $p > 0,005$ ) (Tabla CIV.1, Capítulo IV). La especie es fosora tiene la capacidad de evitar el daño mecánico y las contingencias climáticas, colonizando los lotes desde áreas perimetrales no laboreadas (Marasas *et al.*, 2010). *Calosoma sp.* presentó mayor actividad en LC ( $p < 0,05$ ) y esto podría deberse a que son predadores específicos de larvas de lepidópteros. De acuerdo a Lietti *et al.* (2008) la mayor densidad activa de *Calosoma sp.* se debió a una disponibilidad mayor de las presas (Tabla CIII.1, Capítulo III).

Durante el desarrollo de los cultivos en los tres años de estudio cuando se evaluó la presencia de plagas se observó que se encontraron esporádicamente algunos organismos perjudiciales. El cultivo de trigo presentó daños leves efectuados por: babosas, *Rophalosipum padi*, *Metopolophium dirhodum* y *Sminthurus viridis*. En algunos años la presencia fue nula, situación que se presentó en coincidencia con el año más lluvioso (Tabla AII.7.2, Anexo II).

Una diferencia se observa con *Pseudaletia adultera* y *Faronta albilinea*, que en algunos años alcanzo niveles elevados probablemente debido a que estos organismos en su estado adulto migran desde zonas con mayores temperaturas hacia zonas templadas.

En el cultivo de maíz si bien ocurrió algo semejante con la aparición de escasos registros, en un solo lote de los muestreados se observó *Diatraea saccharalis* contrariamente a lo obtenido por Singh *et al.* (2014) para *Sesamia sp.*

En consecuencia, en el sudeste bonaerense el nivel de ataque de plagas es bajo debido posiblemente a las condiciones ambientales y a la cantidad elevada de enemigos naturales que permite que el nivel poblacional de la plagas se encuentre modulado (Vincini y Alvarez Castillo, 2000).

Por todo lo expuesto resulta de vital importancia el conocimiento que se pueda alcanzar sobre el comportamiento de las plagas tradicionales y de las nuevas plagas (babosas y bichos bolita) ante un escenario nuevo de producción como es la SD. En este sistema el hábitat posee mayor humedad del suelo, menor temperatura, refugio a condiciones extremas y a los enemigos naturales. En consecuencia, en el sudeste bonaerense y de acuerdo a los resultados obtenidos surgen como nuevas plagas potenciales las babosas y los bichos bolita. De estas dos, el bicho bolita parecería contar con ventajas evolutivas para desarrollarse sumado al hecho de la veranización de la agricultura argentina (Carreño y Viglizzo, 2007), siendo la soja el principal cultivo que con el aporte de sus rastrojos aumenta la presencia de estos organismos (Díaz Porrez, 2014).

Por otra parte, la simplificación del sistema de agricultura de conservación al utilizar herbicidas totales puede alterar la biodiversidad del sistema al eliminar zonas de refugio de los organismos que modulan la dinámica poblacional de los herbívoros (Seifert *et al.*, 2015).

En la actualidad aún no se dispone de la mayoría de los conocimientos que controlen a los organismos propios de los sistemas de agricultura de conservación en cada una de las situaciones. En consecuencia es fundamental la investigación de la biodiversidad del suelo mediante el desarrollo de bioindicadores efectivos que permitirían mantener la producción y la sustentabilidad a largo plazo de los sistemas productivos.

# **10. CONCLUSIONES GENERALES**

## **10. CONCLUSIONES GENERALES**

- I. En SD se encontró una temperatura menor y un contenido mayor de agua en el suelo, sobre todo en el inicio de los cultivos, causado por el rastrojo en la superficie.
- II. La población macrofaunal no aumento por el uso de la SD constituyéndose en un indicador de la salud del suelo. Se determinaron efectos positivos de la LC sobre la población de los enquitreidos.
- III. La densidad activa total de los organismos en SD fue mayor, si bien se observaron grupos taxonómicos que presentaron comportamientos diferentes.
- IV. La densidad de los carábidos no mostró diferencias entre SD y LC y se determinaron tres especies dominantes. La riqueza fue menor en SD debido posiblemente a la destrucción de los refugios a causa del uso indiscriminado de los herbicidas.
- V. Los cultivos que se desarrollaron bajo siembra directa no presentaron mayor ataque de plagas durante el desarrollo del cultivo.
- VI. El rastrojo en superficie y el no laboreo permitió el desarrollo de otros organismos en el sistema como las babosas y los bichos bolita que pueden producir daño económico.

# **11. BIBLIOGRAFÍA GENERAL**

## 11. BIBLIOGRAFIA GENERAL

- AAPRESID. 2013. Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa. 2013. “Evolución de la superficie en Siembra Directa en Argentina” [www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2013/02/aapresid.evolucion\\_superficie\\_sd\\_argentina.1977\\_a\\_2011.pdf](http://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2013/02/aapresid.evolucion_superficie_sd_argentina.1977_a_2011.pdf)
- AAPRESID. 2015. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Superficie. [en línea] <<http://www.aapresid.org.ar/superficie/>> [consulta: julio de 2015].
- ABOT, A.R.; RIZZO, H.F.1988. Oruga desgranadora (Faronta albilinea) Oruga militar verdadera (*Pseudaletia adultera*). Su diferenciación, aspectos biológicos y daños. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Información técnica. 6 p.
- ABRIL, A.; SALAS, P.; LOVERA, E.; KOPP, S.; CASADO-MURILLO, N. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de la argentina. Cienc. Suelo 23 (2).
- AL-DABBAGH, K.Y.; BLOCK, W. 1981. Population ecology of a terrestrial isopod in two Breckland grass heaths. Journal of Animal Ecology. 50: 61-77.
- ANDERSEN, A. 1999. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage:II. Pests and beneficial insects. Crop Prot. 18:651–657. doi:10.1016/S0261-2194(99)00071-X
- ANDRADE, F.H.; ECHEVERRÍA, H.E.; GONZALEZ, N.S.; UHART, S.; DARWICH, N.A. 1995. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico 134. EEA INTA Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- ARAGÓN, J.R. 1996. Plagas del trigo y su control. INTA, EEA Marcos Juárez, Córdoba. Actualización técnica 1996/1997. 5 p.
- ARAGÓN, J. 1997. Plagas del trigo y su control. En: Trigo. Actualización técnica 1996/1997. INTA, E.E.A. Marcos Juárez y SAPyA. pp. 41-45.
- ARAGÓN, J. 1998. Manejo integrado de plagas relacionadas a la siembra directa. En: Siembra Directa (J. L. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo y R. Gil, Eds.), Hemisferio Sur; pp. 163-175.
- ARAGÓN, J.R. 2005. Informe del Sistema de Alarma de Plagas con Trampa de Luz y observaciones de campo. INTA, EEA Marcos Juárez, Córdoba. 3 p.

- ARBEA, J.I.; BLASCO-ZUMETA, J. 2001. Ecología de los Colémbolos (Hexapoda, Collembola) en Los Monegros (Zaragoza, España)- Bol. S.E.A., nº 28: 35-48.
- ARAGÓN, J. 2003. Guía de reconocimiento y manejo de plagas tempranas relacionadas a la siembra directa. Agroediciones INTA. 60 p.
- ARAUJO, P.B. 1994. Isópodos: os crustáceos colonizadores da terra. Acta Biologica Leopoldensia. 16(2): 15-27.
- ARAUJO, P.B; BUCKUP, L.; BOND-BUCKUP, G. 1996. Isópodos terrestres (Crustacea: Oniscidea) de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia. Serie Zoológica. Porto Alegre, Brasil. 81: 111-138.
- BAGUETTE, M.; HANCE, T.H. 1997. Carabid beetles and agricultural practices: influence of soil ploughing. Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems 15: 185-190.
- BAKER, C.J.; SAXTON, K.E. 2006. The 'what' and 'why' of no-tillage farming. En: Baker, C.J.; Saxton, K.E. (eds), No-tillage seeding in conservation agriculture (2nd ed.). Rome: CAB International/ FAO, pp 1-10.
- BAKER, C.J.; SAXTON, K.E.; RITCHIE, W.R.; CHAMEN, W.C.T.; REICOSKY, D.C.; RIBEIRO, M.F.S.; JUSTICE, S.E.; HOBBS, P.R. 2006. No-tillage seeding in conservation agriculture, 2<sup>nd</sup> ed. Oxford, UK: CAB International/FAO.
- BARKER, G.M. 2001. Gastropods on land: Phylogeny, diversity and adaptive morphology. In: Barker, G.M. (ed.) The biology of terrestrial molluscs. CABI, London. pp. 1-146.
- BARRAT, B.I.P.; BYERS, R.A.; BIERLEIN, D.L. 1989. Conservation tillage crop establishment in relation to density of the slug (*Deroceras reticulatum* (Müller)). In: Henderson, I. (ed.) Slugs and snails in world agriculture. British Crop Protection Council, Thornton Heath. pp. 93-99.
- BARSKY, O.; GELMAN, J. 2001. Historia del agro argentino. Desde la conquista hasta fines del siglo XX. Grupo Editorial Grijalbo S.A ISBN 987-9307-21-5. 460 p. BCBA (Bolsa de Cereales Buenos Aires). 2014. Relevamiento de tecnología agrícola aplicada: campaña 2012/2013. Buenos Aires: Bolsa de Cereales, 2014.
- BEDMAR, F.; EYHERABIDE, J.J.; LEADEN, M.I. 2001. Manejo de las malezas en sistemas de producción con siembra directa. En: Panigatti, J.L.; Buschiazzi, D.; Marelli, H. (eds.) Siembra directa II. INTA. Buenos Aires. pp. 99-140.

- BOCCA, F.; FABERI, A.J.; MANETTI, P.L.; SALVIO, C.; CLEMENTE, N.L.; A.N. LÓPEZ. Competencia de *Armadillidium vulgare* Latreille (Crustacea: Isopoda) y *Milax gagates* Drapanaud (Mollusca: Pulmonata) por cebos comerciales utilizados para el control de ambas plagas. XIV Jornadas Fitosanitarias Argentinas, Potrero de los Funes, San Luis (Argentina), 3 al 5 de octubre 2012.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W. MISHOE, J.W.; BERGER, R.D. 1983. Coupling Pests to Crop Growth Simulators to Predict Yield Reductions. *Phytopathology* 73: 1581-1587. doi: 10.1094/Phyto-73-1581.
- BOUCHÉ, M.B. 1977. Strategies Lombriciennes. In: Lohm, U.; Person, T. (eds.) *Soil Organisms as Components of Ecosystems. Proceedings of the 6<sup>th</sup> Int. colloquium on soil zoology* Swedish Natural Science Research Council Ecological Bulletin N° 25, Stockholm. pp.122-133.
- BRÉVAULT, T.; BIKAY, S.; MALDÉS, J.M.; NAUDIN, V. 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil Till. Res.* 97: 140-149.
- BRUINSMA, J. 2009. The resource Outlook to 2050: By how much do land, water and crop yield need to increase by 2050. Paper presented at the FAO Expert Meeting, 24-26 June 2009, Rome on “How to Feed the World in 2050”.
- CAPOWIEZ, Y.; CADOUX, S.; BOUCHANT, P.; RUY, S.; ROGER-ESTRADE, J.; RICHARD, G.; BOIZARD, H. 2009. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil Till. Res.* 105: 209-216.
- CARCAMO, H.A. 1995. Effect of tillage on ground beetles (Coleoptera: Carabidae): a farm-scale study in Central Alberta. *The Canadian Entomologist* 127: 631-639.
- CARREÑO, L.V.; VIGLIZZO, E.F. 2007. *Provisión de Servicios Ecológicos y Gestión de los Ambientes Rurales en Argentina. Área Estratégica de Gestión Ambiental.* Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, 68 p.
- CARTER, M.R. 1994. Strategies to overcome impediments to adoption of conservation tillage. En Martin R. Carter (ed.), *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems.* Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- CARTER, M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94:38-47.

- CHRISTIAN, D.G.; MILLER, D.P. 1986. Straw incorporation by different tillage systems and the effect on growth and yield of winter oats. *Soil Till. Res.* 8: 239-252.
- CIVIDANES, F.J. 2002. Effects of tillage systems and intercropping of soybean and corn on soil-inhabiting arthropods. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 37: 15–23. doi:10.1590/S0100-204X2002000100003
- CLEMENTE, N. 2006. Biología de *Deroceras reticulatum* (Mollusca: Pulmonata: Limacidae) y su manejo en el cultivo de girasol en siembra directa. Tesis Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 57 p.
- CLEMENTE, N.L.; FABERI, A.J.; SALVIO, C.; LÓPEZ, A.N. 2010. Biology and individual growth of *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) (Pulmonata: Stylommatophora). *Invertebr. Reprod. Dev.* 54 (3): 163-168.
- COSTAMAGNA, A.C.; MANETTI, P.L.; ÁLVAREZ CASTILLO, H.A.; SADRAS, V. 1999. Avances en el manejo de babosas en siembra directa. En: Cosecha gruesa. Jornada Anual de Actualización Profesional. Mar del Plata. Argentina, 24 de septiembre. pp. 101-105.
- CREUS, C.J.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; SÁNCHEZ, S.R. 1998. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica de nitrógeno en el suelo. *Ciencia del Suelo* 16: 51-57.
- DARDANELLI, J. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. p. 107-115. En: J.L. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo y R. Gil (eds) Siembra directa. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- DAVIN, E.L.; SENEVIRATNE, S.I.; CIAIS, P.; OLIOSO, A.; WANG, T. 2014. Preferential cooling of hot extremes from cropland albedo management. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2014 Jul 8; 111(27): 9757–9761. Published online 2014 Jun 23. doi: 10.1073/pnas.1317323111
- DECAËNS, T. 2010. Macroecological patterns in soil communities. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 287–302. doi:10.1111/j.1466-8238.2009.00517.x
- DERPSCH, R. 1998. Historical review of no-tillage cultivation of crops. JIRCAS Working Rep. 13: 1-18. Japan Int. Res. Ctr. for Agric. Sciences, Ibaraki, Japan. See also [www.rolf-derpsch.com](http://www.rolf-derpsch.com).

- DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T. 2010. Sustainable crop production intensification - The adoption of conservation agriculture worldwide. 16<sup>th</sup> ISCO Congress, 8-12 Nov. Santiago, Chile.
- DÍAZ PORRES, M.; RIONDA, M.H.; DUHOUR, A.E.; MOMO, F.R. 2014. Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. *Ecología Austral* 24: 327-334.
- DIVITO, G.A.; SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A.; WYNGAARD, N. 2011. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. *Soil Tillage Res.* 114: 117–126.
- DOMÍNGUEZ, G.F., STUDDERT, G.A., ECHEVERRÍA, H.E. y F.H. ANDRADE. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia suelo* 19(1): 47-56.
- DOMÍNGUEZ, G.F.; DIOVISALVI, N.V.; STUDDERT, G.A.; MONTERUBBIANESI, M.G. 2009. Soil organic carbon and nitrogen fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Tillage Res.* 102: 93–100
- DOMÍNGUEZ, G.F.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E. 2004. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la materia orgánica total y particulada en un Molisol de Balcarce. En CD, 7 páginas, en: Actas “XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo”, Paraná, Entre Ríos. 23-25 de junio de 2004.
- DOMÍNGUEZ, G.F.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. Pp. 207-229, en: García FO y HE Echeverría (eds.), *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA 525 p.
- DOMÍNGUEZ, J.; BOHLEN, P.J.; PARMELEE, R.W. 2004. Earthworms Increase Nitrogen Leaching to Greater Soil Depths in Row Crop Agroecosystems. *Ecosystems* 7: 672– 685. doi:10.1007/s10021-004-0150-7
- DORAN, J.N. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 765-771. doi:10.2136/sssaj1980.03615995004400040022x

- DOUBE, B.M.; SCHMIDT, O.; KILLHAM, K.; CORRELL, R. 1997. Influence of mineral soil on the palatability of organic matter for lumbricid earthworms: a simple food preference study. *Soil Biol. Biochem.* 29: 569-575.
- EINHELLING, F.A. 1996. Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agron. J.* 88: 886-893.
- EMMERLING, C. 2001. Response of earthworm communities to different types of soil tillage. *Applied Soil Ecology* 17: 91–96
- ERNST, G; EMERLING, C. 2009. Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. *European Journal of Soil Biology* 45: 247-257.
- ERROUISSI, F; MOUSSA-MACHRAOUI, S.B., BEN-HAMMOUDA, M., NOUIRA, S. 2011. Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under Mediterranean semi-arid conditions: A comparison between conventional and no-tillage management. *Soil and Tillage Research* vol 112, 2: 122–132
- FABERI, A.J; CLEMENTE, N.L; MANETTI, P.L; LÓPEZ, A.N. 2014. Nivel de daño económico de *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804) (Crustacea: Isopoda) en el cultivo de girasol. *RIA* 40 (2): 182-188.
- FABERI, A.J. 2010. Importancia de la relación C:N de los residuos vegetales en la biología y la dinámica poblacional de *Armadillidium vulgare* (Latreille) (Crustacea: Isopoda) bajo condiciones de siembra directa. Tesis Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 87 p.
- FABERI, A.J.; LÓPEZ, A.N.; CLEMENTE, N.L.; MANETTI, P.L. 2011. Importance of diet in the growth, survivorship and reproduction of the no-tillage pest *Armadillidium vulgare* (Crustacea: Isopoda). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 84: 407-417.
- FABERI, A.J.; TAMBASCIO, C.; CLEMENTE, N.L.; MANETTI, P.L.; LÓPEZ, A.N. 2007. Severidad de los daños ocasionados por *Deroceras reticulatum* (Müller, 1774), *Deroceras laeve* (Müller, 1774) y *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) en el cultivo de girasol. 20° Encontro Brasileiro de Malacología. Río de Janeiro, Brasil. 5 a 10 de agosto de 2007. 365 p.

- FABRIZZI, K.P.; GARCÍA, F.O.; COSTA, J.L.; PICONE, L.I. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81: 57-69.
- FALOTICO, J.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA H.E. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continua. *Ciencia del Suelo* 17: 9-20.
- FAO. 2011. Save and Grow. A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. Rome. Pp 116.
- FAOSTAT. 2014: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistical Databases, Online at <http://faostat.fao.org>
- FERERES CASTIEL, A. 1998. Control de insectos-plaga en el laboreo de conservación. En García Torres L., González Fernández P., eds. *Agricultura de conservación: fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. Asociación Española Laboreo de Conservación/ Suelos Vivos. Spain. pp. 143-155.
- FERNANDES MARTINS, I.C.; CIVIDANES, F.J.; BARBOSA, J.C.; DE SOUZA ARAÚJO, E.; QUEIROZ HADDAD, G. 2009. Análise de fauna e flutuação populacional de Carabidae e Staphylinidae (Coleoptera) em sistemas de plantio direto e convencional. *Rev. Bras. Entomol.* 53(3): 432-443.
- FERRERAS, L.A., COSTA, J.L.; GARCÍA, F.O. 1999. Temperatura y contenido hídrico del suelo en superficie durante el cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranza. *Cienc. Suelo* 17(2): 39-45.
- FONTE, S.J.; KONG, A.Y.Y.; VAN KESSEL, C.; HENDRIX, P.F.; SIX, J. 2007. Influence of earthworm activity on aggregate-associated carbon and nitrogen dynamics differs with agroecosystem management. *Soil Biol. Biochem.* 39: 1014-1022.
- FORMENTO, N. 2001. Implicancias epidemiológicas de la siembra directa. Manejo integrado de enfermedades. En: Panigatti, J.L.; Buschiazzo, D.; Marelli, H. (eds.) *Siembra directa II*. INTA. Buenos Aires. pp. 141-164.
- FOX, C.A.; FONSECA, E.J.A.; MILLER, J.J.; TOMLIN, A.D. 1999. The influence of row position and selected soil attributes on Acarina and Collembola in no-till and conventional continuous corn on a clay loam soil. *Applied Soil Ecology* 13: 1-8.

- FRAGOSO, C.; LAVELLE, P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forest. *Soil Biol Biochem* 24, 1397-1408.
- FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R.; KASSAM, A. 2012. Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science reports* (Online), Special Issue 6. Online since 06 November.
- GALLEZ, L.M.; MIRAVALLÉS, M.T. 1996. Principales plagas del cultivo. Métodos de control. En: Trigo: cuaderno de actualización técnica N° 56, AACREA, Buenos Aires, pp 48-57.
- GARAVANO, M.E.; FABERI, A.J.; CLEMENTE, N.L.; SALVIO, C.; MANETTI, P.L.; LÓPEZ, A.N. 2009. Alternativas en el manejo de *Deroceras reticulatum* (Pulmonata: Stylomatophora) con cebos con metaldehído-carbaryl y con metaldehído líquido en el cultivo de colza. 13° Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Santiago del Estero, 30 de septiembre al 2 de octubre de 2009. 3 p.
- GASSEN, D.N. 1989. Insetos subterraneos prejudiciais as culturas no sul do Brasil. Passo Fundo. EMBRAPA-CNPT. 49p.
- GASSEN, D.N. 2001. As pragas sob plantio direto. En: Díaz Rossello, R. (ed). Siembra directa en el cono sur. PROCISUR. Montevideo, Uruguay. pp. 103-120.
- GIL, R.C.; GARAY, A. 2001. La siembra directa y el funcionamiento sustentable del suelo. In: J.L. Panigatti *et al*, editors, Siembra directa II. Ediciones INTA, Buenos Aires. p. 5–16.
- GIORDA, L.M.; VALLONE, S. 2001. Manejo de las enfermedades en sistemas de producción sustentable. En: Panigatti, J.L.; Buschiazzi, D.; Marelli, H. (eds.) Siembra directa II. INTA. Buenos Aires. pp. 165-204.
- GIZZI, A.H., ÁLVAREZ CASTILLO, H.A., MANETTI, P.L., LÓPEZ, A.N., N.L. CLEMENTE y G.A. STUDDERT. 2009. Caracterización de la meso y macrofauna edáfica en sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. *Ci Suelo* 27 (1). 1-9.
- GLEN, D.; MOENS, R. 2002. Agriolimacidae, Arionidae and Milacidae as pests in west European cereals. In: Barker, G.M. (ed.) Molluscs as crop pests. CABI Publishing, Hamilton, New Zealand. pp. 33-54.
- GLIME, J. M. 2014. Arthropods: Crustacea – Isopoda, Mysida, and Decapoda. Chapt. 10-3. En: Glime, J. M. Bryophyte Ecology. Volume 2. Bryological Interaction. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International

- Association of Bryologists. Última actualización 25 Julio 2014 y disponible en <www.bryocol.mtu.edu>.
- GREGORY, J. M. 1982. Soil cover prediction with various amounts and types of residue. *Trans. ASAE* 25:1333-1337.
- GUPTA V.V.S.R.; YEATES, G.W. 1998. Soil microfauna as bioindicators of soil health. In: *Biological Indicators of Soil Health*. (Pankhurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R. eds), CAB Publishing, UK. pp. 201-233.
- HASSALL, M.; DANGERFIELD, J.M. 1990. Density-dependent processes in the population dynamics of *Armadillidium vulgare* (Isopoda: Oniscidae). *Journal of Animal Ecology*. 59: 941-958.
- HENDRIX, P.F.; D.A. CROSSLEY JR.; BLAIR, J.M.; COLEMAN, D.C. 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. In: *Sustainable agricultural systems*, C.A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R.H. Miler and G. House (Eds.). SWCS, Ankeny, USA. pp. 637-654.
- HOBBS, P.R.; SAYRE, K.; GUPTA, R.. 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 363: 543–555.
- HOPKIN, S.P. 1991. A key to the woodlice of Britain and Ireland. Field Studies Council. London, United Kingdom. 49 p.
- HOPKIN, S.P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta, Collembola)*. Oxford University Press, Oxford. 330 pp.
- HOLLAND, J.M.; REYNOLDS, C.J.M. 2003. The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. *Pedobiologia* 47:181–191. doi:10.1078/0031-4056-00181.
- HOLLAND, J.M.; LUFF, M.L. 2000. The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Integr. Pest Manage Rev.* 5: 109–129. doi:10.1023/A:1009619309424.
- HOUSE, G.J.; PARMELEE, R.W. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Tillage Res.* 5:351–360. doi:10.1016/S0167-1987(85)80003-9.
- IMWINKELRIED, J.M.; FRANA, J. 1982. Consideraciones sobre el cultivo de trigo en la subregión ecológica I. Publicación Miscelánea N° 9. INTA, EEA Rafaela, Santa Fe. 2 p.

- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pág.
- KLADIVKO, E.J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research*. 61: 61-76.
- KLADIVKO, E.J.; AKHOURI, N.M.; WEESIES, G. 1997. Earthworm populations and species distributions under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois. *Soil Biol. Biochem.* 29: 613-615.
- KNOWLER, D.; BRADSHAW, B. 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32: 25-48.
- KROMP, B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 187-228.
- KUHLMAN, D.E.; K.L. STEFFEY. 1982. Insect control in no-till corn. In: Proceedings of the Thirty-Seventh Annual Corn & Sorghum Industry Research Conference. Pp. 119-147.
- LAL, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123: 1-22
- LARSEN, G.; MANETTI, P.; CLEMENTE, N.; FABERI, A.; SALVIO, C.; LÓPEZ, A. 2007. Relevamiento de la densidad de babosas y bichos bolita en siembra directa. 4° Congreso Argentino de Girasol, Buenos Aires, Argentina. 29 y 30 de mayo de 2007. 3 p.
- LAGERLÖF, J; ANDREN, O.; PAUSTIAN, K. 1989. Dynamics and contribution to carbon flows of enchytraeidae (Oligochaeta) under four cropping systems. *J. Appl. Ecol.* 26: 183-199.
- LAVELLE, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. In: Begon, M. (Ed.), *Advances in Ecological Research*. Academic Press, New York, pp. 93-132.
- LEE K.E.; FOSTER R.C. 1991. Soil fauna and soil structure. *Aust J Res* 29 (6): 745-775.

- LEE, K.E. 1985. Earthworms. Their Ecology and Relationships with soils and Land Use. Academic Press, Sydney, 411 pp.
- LIETTI, M.; GAMUNDI, J.C.; MONTERO, G.; MOLINARI, A.; BULACIO, V. 2008. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la abundancia de artrópodos que habitan en el suelo. Ecol. Austral 18: 71–87.
- LINDEN, D.R.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C.; VAN VLIET, P.C.J. 1994. Faunal indicators of soil quality. In: Defining soil quality for a sustainable environment (Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F. Stewart B.A., eds). SSSA Special Publication 35: 91-106.
- LINN, D.M.; DORAN, J.W. 1984. Effect of Water-Filled Pore Space on Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Production in Tilled and Nontilled Soils. Soil Sci.Soc.Am.J. 48: 1267-1272.
- LÓPEZ, A.N., VINCINI A.M., CLEMENTE, N.L., MANETTI, P.L., CARMONA, D.M. y H.A. ÁLVAREZ CASTILLO. 2005. Densidad estacional y distribución vertical de los Enchytraeidae (Annelida: Oligochaeta) en diferentes sistemas de producción. Ci Suelo 23 (2): 115-121.
- MANETTI, P.L.; VINCINI, A.M. 2005. Plagas del cultivo de trigo. En: Trigo. Manual técnico. Bayer Crop Science. Munro, Buenos Aires, Argentina. pp. 40-41.
- MANETTI, P.L.; CAZZANIGA, N.; LÓPEZ, A.N.; CLEMENTE, N.L.; ÁLVAREZ CASTILLO, H.A. 2005. Guía práctica para identificar las babosas terrestres del sur de la provincia de Buenos Aires (República Argentina). 19° Encontro Brasileiro de Malacologia. Rio de Janeiro, Brasil. 25 a 29 de julio de 2005. 226 p.
- MANETTI, P.L.; GIZZI, H.; PONTALORI, M.E.; FABERI, A.J. 2006. Evaluación de cebos granulados para el control de *Armadillidium vulgare* en cultivo de soja bajo siembra directa. 12° Jornadas Fitosanitarias Argentina. San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. 28 a 30 de junio de 2006. 377 p.
- MANETTI, P.L.; CAZZANIGA, N.; LÓPEZ, A.N.; CLEMENTE, N.L. y ÁLVAREZ CASTILLO, H.A. 2005. Guía práctica para identificar las babosas terrestres del sur de la provincia de Buenos Aires (República Argentina). XIX Encontro Brasileiro de Malacología. Río de Janeiro, Brasil.
- MANUEL-NAVARRETE, D.; GALLOPÍN, G.; BLANCO, M.; DÍAZ-ZORITA, M.; FERRARO, D.; HERZER, H.; LATERRA, P.; MORELLO, J.; MURMIS, M.R.;

- PENGUE, W.; PIÑEIRO, M.; PODESTÁ, G.; SATORRE, E.H.; TORRENT, M.; TORRES, F.; VIGLIZZO, E.; CAPUTO, M.G.; CELIS, A. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo. Naciones Unidas. Santiago de Chile. 65 p.
- MARASAS, M.E.; SARANDON, S.J.; CICCHINO, A.C. 1997. Efecto de la labranza sobre la coleopterofauna edáfica en un cultivo de trigo en la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Cienc. Suelo* 15: 59–63.
- MARASAS, M.E., SARANDON, S.J. CICCHINO A.C. 2001. Changes in soil arthropod functional group in a wheat crop under conventional and no tillage systems in Argentina. *Appl. Soil Ecol.* 18: 61–68. doi:10.1016/S0929-1393(01)00148-2.
- MARASAS, M.E. 2001. Efectos de distintos sistemas de labranza y diversidad de la coleopterofauna edáfica, con especial referencia a las especies de Carabidae, en un cultivo de trigo y los ambientes naturales circundantes. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, 113 p.
- MARASAS, M.E.; SARANDÓN, S.J.; CICCHINO, A.C. 2010. Semi-natural habitats and field margins in a typical agroecosystem of the Argentinean pampas as a reservoir of carabid beetles. *J. Sustain. Agri.* 34(2): 153-168.
- MARASAS, M.E. 2002. La coleopterofauna edáfica y su relación con la calidad del suelo. En: Sarandón, S.J. (ed.) *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*. pp. 135-151.
- MASTRONARDI, F. 2006. Control químico de isópodos y babosas en un cultivo de girasol bajo siembra directa. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 65 p.
- MATHEW, R.P.; FENG, Y.; GITHINJI, L., ANKUMAH, R.; BALKCOM, K.S. 2012. Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities. *Applied and Environmental Soil Science*. Volume 2012 (2012), Article ID 548620, 10 pages. doi:10.1155/2012/548620.

- MENALLED, F.D.; SMITH, R.G.; DAUER, J.T.; FOX, T.B. 2007. Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118:49–54. doi:10.1016/j.agee.2006.04.011.
- MELE, P.M.; CARTER, M.R. 1999. Species abundance of earthworms in arable and pasture soils in south-eastern Australia. *Applied Soil Ecology* 12: 129-137
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2015. *Ecosystems and human well-being: our human planet*. Island Press. Washington, D.C. EE.UU.
- MILESI DELAYE, L.A.; IRIZAR, A.B.; ANDRIULO, A.E.; MARY, B. 2013. Effect of Continuous Agriculture of Grassland Soils of the Argentine Rolling Pampa on Soil Organic Carbon and Nitrogen. *Applied and Environmental Soil Science*. Volume 2013, Article ID 487865, 17 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/487865>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). 2012. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. [en línea] <<http://www.siiia.gov.ar/index.php/series-portema/agricultura>> [consulta: 14 de diciembre de 2015].
- MITCHELL, M.G.E.; BENNETT, E.M; GONZALEZ, A. 2014. Agricultural landscape structure affects arthropod diversity and arthropod-derived ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 192: 144–151.
- MOMO, F.R., GIOVANETTI C.M. y L. MALACALZA L. 1993. Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) y algunos parámetros fisicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. *Ecología Austral* 3: 7-14.
- MOMO, F.R.; FALCO, L.B. 2010. Las lombrices de tierra. En: Momo, F.R.; Falco, L.B. (eds.) *Biología y ecología de la fauna del suelo*. Ediciones Imago Mundi. pp. 141-160.
- NEMIROVSKY, N.; PARODI, R. 1970. El gusano perforador de la caña en sorgo granífero, daños y biología. INTA, EEA Manfredi, Córdoba. Pp 10.
- OESTERHELD, M. 2008. Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas. *Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes*. *Ecología Austral* 18:337-346.
- OLIVER, P.G.; MEECHAN, C.J. 1993. Woodlice. Keys and notes for identification of the species. In: Kermack, D.M.; Barnes, R.S.K.; Crothers, J.H. (eds.) *Synopses of the British Fauna*. The Lineal Society of London. Londres, United Kingdom. pp. 1-135.

- OUYAND, D.; WRIGHT, J. 2005. Calcium accumulation in eggs and mancae of *Armadillidium vulgare* (Isopoda: Oniscidea). *Journal of Crustacean Biology*. 25(3): 420-426.
- PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; DECLERCK, F.; GATERE, L.; GRACE, P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187: 87-105.
- PAPA, J.C. 1998. La siembra directa y las malezas. En: *Siembra Directa* (J. L. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo y R. Gil, Eds.), Hemisferio Sur; pp. 177-186.
- PARIS, O.H. 1965. Vagility of P32- labeled isopods in grassland. *Ecology*. 46: 635-648.
- PARIS, O.H.; PITELKA, F.A. 1962. Population characteristics of the terrestrial isopod *Armadillidium vulgare* in California grassland. *Ecology* 43: 229-248.
- PARRUELO, J.M.; GUERSCHMAN, J.P.; PIÑEIRO, G.; JOBBÁGY, E.G.; VERÓN, S.R.; BALDI, G.; BAESA, S. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia* Vol. X N° 2 pág. 47-61.
- PASTRANA, J.A. 2004 *Los Lepidópteros Argentinos. Sus plantas hospedadoras y otros sustratos alimenticios*. South American Biological Control Laboratory Society USDA-ARS. Sociedad Entomológica Argentina. Universidad Nacional de Tucumán. 334 p.
- PETERSEN, H. 2002. General aspects of collembolan ecology at the turn of the millennium. *Pedobiologia* 46: 246-260.
- PETERSEN, H.; LUXTON, M. 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* 39: 287-388.
- PRETTY, J.; SUTHERLAND, W.J.; ASHBY, J.; AUBURN J.; BAULCOMBE, D.; BELL M.; BENTLEY J.; BICKERSTETH, S., BROWN, K.; BURKE, J.; CAMPBELL, H.; CHEN, K.; CROWLEY, E.; CRUTE, I.; DOBBELAERE, D.; EDWARDS-JONES, G.; FUNES-MONZOTE, F.; *et al.* 2010. The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability* 8(4): 219–236, doi:10.3763/ijas.2010.05.
- QUIROGA, A.R.; STUDDERT, G.A. 2015. Manejo del suelo e intensificación agrícola: agua y materia orgánica. pp 73-100. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.).

- Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- QUIROGA, A.; ORMEÑO, O.; PEINEMANN, N. 1998. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. En: J.L. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo y R. Gil (eds) Siembra directa. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- RECA, L.G. 2006. Aspectos del Desarrollo Agropecuario Argentino 1875-2005. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, tomo XL, Bs. Aires.187-231. ISSN 0327-8093.
- REICOSKY, D.C; SAXTON, K.E. 2006. The Benefits of No-tillage. En: Baker, C.J.; Saxton, K.E. (eds), No-tillage seeding in conservation agriculture (2nd ed.). Rome: CAB International/ FAO, pp 11-20.
- RIAN. 2014. Red de Información Agropecuaria Nacional. <http://inta.gob.ar/documentos/informes-mensuales-agropecuarios-de-rian-del-area-de-la-eea-balcarce>
- RÍOS DE SALUSO, M.I.A.; SALUZO, A.; PAPANOTTI, O.; DEBONA, C. 2001. Asociación entre la macrofauna del suelo y la siembra directa en el oeste de Entre Ríos. En: Panigatti, J.L.; Buschiazzo, D.; Marelli, H. (eds.) Siembra directa II. INTA. Buenos Aires. pp. 83-95.
- RIZZALLI, R.H. 1998. Siembra directa y convencional de maíz antes distintas ofertas de nitrógeno. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 60 p.
- ROBERTSON, L.N.; KETTLE, B.A.; SIMPSON G.B. 1994. The influence of tillage practices on soil macrofauna in a semi-arid agroecosystem in northeastern Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 48: 149–156. doi:10.1016/0167-8809(94)90085-X
- RUSEK, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodivers. Conserv.* 7: 1207-1219.
- SAINZ ROSAS, H.R.; ECHEVERRÍA; H.E.; ANGELINI, E.P. 2011. Niveles de materia orgánica y ph en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del suelo* 29: 29-37.

- SALUSO, A. 2001. Isópodos terrestres asociados al cultivo de soja en siembra directa. INTA, Estación Experimental Agropecuaria, Paraná, Centro Regional Entre Ríos, Argentina. Soja. Actualización técnica. Serie extensión N° 21. pp. 80-83.
- SALUSO, A. 2004. Determinación del Nivel de Daño Económico y plan de decisión secuencial para el manejo de *Armadillidium vulgare* (Crustacea: Isopoda) en soja. Tesis Magíster Scientiae. Universidad Nacional de La Rioja. Argentina. 75 p.
- SALVIO, C.; MANETTI, P.L.; CLEMENTE, N.L.; LÓPEZ, A.N. 2014. Efectos de Carbaryl y Metaldehído sobre *Armadillidium vulgare* (Crustacea: Isopoda) y *Milax gagates* (Mollusca: Pulmonata) en soja bajo siembra directa. Agrocienca Uruguay 18(2): 82-89.
- SALVIO, C.; MANETTI, P.L.; CLEMENTE, N.L.; LÓPEZ, A.N. 2013. Acción de los cebos granulados sobre los invertebrados. Cienc Suelo 31(2): 165-174.
- SAMU, F.; SUNDERLAND, K.D.; CSABA, S. 1999. Scale-dependent dispersal and distribution patterns of spiders in agricultural systems: A review. J. Arachnol. 27: 325-332.
- SANTAMARÍA, S.M.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E. 2004. Sistemas de labranza y fertilización nitrogenada en trigo bajo distintas historias agrícolas. En CD, 10 páginas, en: Actas "XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo", Paraná, Entre Ríos. 22-24 de junio de 2004.
- SEASTEDT, T.R. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. Annu. Rev. Entomol. 29: 25-46.
- SEIFERT, C.; LEUSCHNER, C.; CULMSEE, H. 2015. Arable plant diversity on conventional cropland - The role of crop species, management and environment. Agriculture, Ecosystems and Environment 213: 151-163.
- SIIA. 2015. Sistema integrado de información agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería y Pesca. [http://www.siiia.gov.ar/\\_apps/siiia/estimaciones/estima2.php](http://www.siiia.gov.ar/_apps/siiia/estimaciones/estima2.php).
- SINGH, B.; KULAR, J.S.; RAM, H.; MAHAL, M.S. 2014. Relative abundance and damage of some insect pests of wheat under different tillage practices in rice-wheat cropping in India. Crop Protection 61: 16-22.
- SOUTH, A. 1992. Terrestrial slugs. Biology, ecology and control. Chapman & Hall. London. 428 p.

- STINNER, B.R.; HOUSE, G.J. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 35: 299-318.
- STUDDERT, G.A. 1996. Manejo de rastrojos en superficie. pp. 1-8. En: Actas "14ª Jornada Anual de Actualización Profesional en Cultivos de Cosecha Gruesa". Mar del Plata, 20 de septiembre de 1996.
- STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; CASANOVAS, E.M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1466-1472.
- SUNDERLAND, K.; SAMU, F. 2000. Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95(1): 1-13.
- SWIFT, M.; HEAL, O.; ANDERSON, J. 1979. The composition in Terrestrial Ecosystems. Blackwell Scientific, Oxford, UK. 373 p.
- TAMBASCIO, C. 2007. Severidad de los daños ocasionados por *Deroceras laeve* (Müller, 1774), *Deroceras reticulatum* (Müller, 1774) y *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) en el cultivo de girasol. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 44 p.
- TEASDALE, J.R.; MOHLER, C.L. 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* 48: 385-392.
- TILMAN, D.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices, *Nature* 418, 671-677.
- TORRUSIO, S.; DE WYSIECKI, M.L.; OTERO, J. 2005. Estimación de daño causado por *Dichroplus elongatus* Giglio-tos (Orthoptera: Acrididae) en cultivos de soja en siembra directa, en la provincia de Buenos Aires. *Rev. Invest. Agropecu.* 34(3): 59-72.
- TRIGO, E.; CAP, E.; MALACH, V.; VILLAREAL, F. 2009. The case of Zero-Tillage technology in Argentina. IFPRI Discussion paper 00915, pp 30.
- TRIPLETT, G.B.; DICK, W.A. 2008. No-Tillage Crop Production: A Revolution in Agriculture! *Agron. J.* 100: S153-S165.
- TRUMPER, E.; LINARES, M. 1999. Bicho Bolita. Nueva amenaza para la soja. *Super Campo.* 5(59): 24-27.

- UN. 2014. The world population situation in 2014. Concise Report. 38 p. ISBN 978-92-1-151518-3.
- UNGER, P.W. 1994. Managing agricultural residues. Florida: CRC Press, Inc. 433p.
- VAN DOREN, D.N.; ALLMARAS, R.R. 1978. Residue management practices on the soil physical environment, microclimate, and plant growth. p. 49-83. In: W.R. Oschwald (ed). Crop residue management systems. ASA Special Publication Number 31. ASA, Madison, Wisconsin, U.S.A.
- VAN VLIET, P.C.J.; WEST L.T., P.F. HENDRIX; COLEMAN, D.C. 1993. The influence of Enchytraeidae (Oligochaeta) on the soil porosity of small microcosms. *Geoderma*, 56: 287-299.
- VERHULST, N., GOVAERTS, B., VERACHTERT, E., CASTELLANOS-NAVARRETE, A., MEZZALAMA, M., WALL, P., DECKERS, J., SAYRE, K.D. 2010. Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems? In: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 137-208.
- VIGLIZZO, E.F.; CARREÑO. L.V.; PEREYRA, H.; RICARD, F.; CLATT, J.; PINCEN, D. 2010b. Capítulo 1. Dinámica de la frontera Agropecuaria y cambio tecnológico. En *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto Ecológico-Ambiental*. Editores: E. Viglizzo y E. Jobbágy. Ediciones INTA.
- VIGLIZZO, E.F.; FRANK, F.C.; CARREÑO, L.V.; JOBBÁGY, E.G.; PEREYRA, H.; CLATT, J.; PINCÉN, D.; RICARD, F. 2010a. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*. 15p. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02293.x.
- VIGLIZZO, E.F.; LÉRTORA, F.A.; PORDOMINGO, A.J.; BERNARDOS, J.; ROBERTO, Z.E.; DEL VALLE, H. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 81: 65-81.
- VIGLIZZO, E.F.; PORDOMINGO, A.J.; CASTRO, M.G.; LÉRTORA, F.A. 2002. La sustentabilidad ambiental de la agricultura pampeana ¿oportunidad o pesadilla? *Ciencia Hoy* 12: 38-51.
- VILLARINO, S.H.; STUDDERT, G.A.; LATERRA, P. 2014. Cambio climático y servicios ecosistémicos del suelo. En: *Suelos, producción agropecuaria y cambio*

- climático: avances en la Argentina. Pp 334-343. Ed. Pascale Medina, C.P.; Zubillaga, M.M; Taboada, M.A. 1° ed.
- VINCINI, A.M.; ALVAREZ CASTILLO, H.A. 2000. Plagas de los cultivos de girasol, maíz y soja. p. 309-352. En: F. Andrade y V. Sadras (eds) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias UNMDP. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- VOLANTE, J.; MOSCIARO, J.; MORALES POCLAVA, M.; VALE, L.; CASTRILLO, S; SAWCHIK, J.; TISCORNIA, G.; FUENTE, M.; MALDONADO, I.; VEGA, A.; TRUJILLO, R.; CORTÉZ, L.; PARUELO, J. 2015. Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación.
- WÄGELE, J.W. 1992. Isopoda. In: Harrison, F.W.; Humes, A.G. (eds.). Microscopic anatomy of invertebrates. Crustacea. Wiley-Liss, Inc. New York, EE.UU. pp. 529-618.
- WALLER, G.R.; KRENZER, E.G.; MCPHERSON, J.K.; MCGOWN, S.R. 1987. Allelopathic compounds in soil from no tillage conventional tillage in wheat production. *Plant Soil* 98: 5-15.
- WARBURG, M.R. 1964. The response of isopods towards temperature, humidity and light. *Animal Behavior*. 12: 175-186.
- WARBURG, M.R. 1989. The role of water in the life of terrestrial isopods. *Monitore Zoologia Italiana*. 4: 285-304.
- WARBURG, M.R. 1993. *Evolutionary Biology of Land Isopods*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 159 p.
- WARBURG, M.R.; LINSÉNMAIR, K.E.; BERCOVITZ, K. 1984. The Effect of Climate on the Distribution and Abundance of Isopods. *Symposium of Zoology Society of London*, London. 53: 339-367.
- WARDLE, D.A. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. In: *Advances in ecological research* (Begon M., Fitter A.H., eds). Academic Press, NY, USA. pp. 105-185.
- WILSON-RUMMENIE, A.C.; RADFORD, B.J.; ROBERTSON, L.N.; SIMPSON, G.B.; BELL, K.L. 1999. Reduced tillage increases population density of soil

- macrofauna in a semiarid environment in Central Queensland. *Environ. Entomol.* 28 (2): 163-172.
- WOLTERS, V.; EKSCHMITT, K. 1997. Gastropods, Isopods, Diplopods, Chilopods: Neglected groups of the decomposer food web. In: Benckiser, G. (ed.) *Fauna in soil Ecosystems. Recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production.* Marcel Dekker, Inc. New York, EE.UU. pp. 265-306.
- WRIGHT J.C.; MACHIN, J. 1993. Atmospheric water absorption and water budget of terrestrial isopods (Crustacea, Isopoda, Oniscidea). *Biology Bulletin.* 184: 243-253.
- WYNGAARD, N.; ECHEVERRÍA, H.E.; SAINZ ROZAS, H.R.; DIVITO, G.A. 2012. Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a Southern Pampas Argiudoll. *Soil Tillage Res.* 119: 22-30.
- WYSS, E.; GLASSTETTER, M. 1992. Tillage treatments and earthworm distribution in a swiss experimental corn field. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1635-1639.
- ZACCAGNINI, M.E.; CALAMARI, N.C. 2001. Labranzas conservacionistas, siembra directa y biodiversidad. Pp. 29-68 en: Panigatti, JL; D Buschiazzo & H Marelli (eds.). *Siembra Directa II.* INTA, Buenos Aires.
- ZIMMER, M.; TOPP, W. 2000. Species-specific utilization of food sources by sympatric woodlice (Isopoda: Oniscidea). *Journal of Animal Ecology.* 69: 1071-1082.

# **ANEXO I**

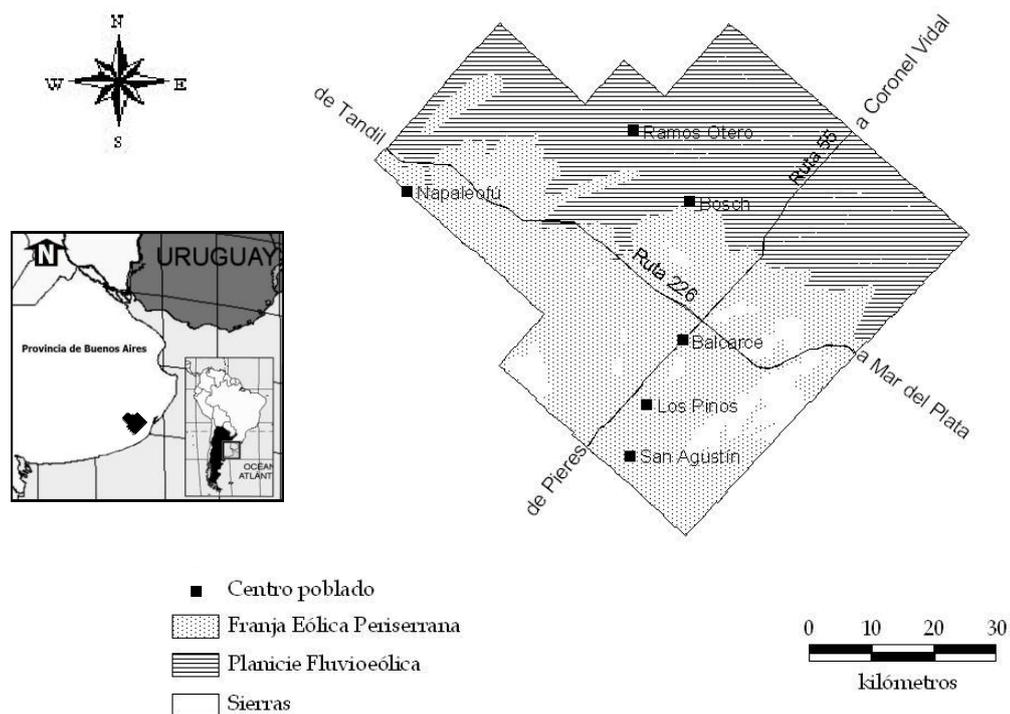
## ANEXO I. CARACTERIZACION DE LOS SUELOS UTILIZADOS

### I.1. DESCRIPCION PAISAJE DE LA ZONA (Adaptado del Atlas digital del partido de Balcarce)

El partido de Balcarce presenta un relieve caracterizado por la presencia de Sierras de sistema de Tandilia, con elevaciones que tienen su máxima expresión en la Sierra la Bachicha (383 msnm) y un ambiente de llanura en el sector norte y noreste donde se desarrollan las áreas de menor altura del orden de los 35 metros.

El área que abarca el partido de Balcarce incluye rocas de muy diferentes edades, así como un paisaje de geoformas de muy distinto origen y edad.

Se pueden determinar tres ambientes geomórficos principales: **Sierras**, **Franja eólica periserrana** y **Planicie pluviocólica**. (Figura anexo I.1)



**Figura AI.1. Ambientes geomórficos del Partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina)**

Los rasgos dominantes del paisaje corresponden a los afloramientos serranos, se presentan aislados entre si y separados por amplios valles que han sido cubiertos por depósitos eólicos esencialmente limosos (loess) que forman un paisaje de colinas. Hacia

el norte, este relieve de colinas pasa transicionalmente a una llanura de muy bajo gradiente (Planicie fluvioeólica).

Estas zonas se desarrollan y se continúan en los partidos aledaños, como Tandil, Gral. Pueyrredón, Alvarado y Lobería.

### **I.1.1. Sierras**

El ambiente está constituido por elevaciones de sistema de Tandilia o sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. Son cerros alargados de cumbres chatas, en forma de mesa, son el producto del fallamiento y erosión de los mantos subhorizontales de ortocuarcitas (Paleozoico inferior). Las cumbres planas generalmente están cubiertas por depósitos eólicos del Pleistoceno Tardío-Holoceno. Al pie de las cumbres planas, las sierras terminan generalmente en rupturas abruptas de pendiente dando lugar a frentes rocosos. Estos sectores pasan pendiente abajo transicionalmente a acumulaciones de detritos. Generalmente las pendientes varían entre verticales y 25%, pudiendo en algunos casos ser menores. En estos sectores predominan los procesos de meteorización física. Los depósitos coluviales se inician en posiciones intermedias de las vertientes rocosas formando un manto más o menos continuo de detritos que se extienden a unos 500 a 1000 m del pie de las sierras.

### **I.1.2. Franja Eólica Periserrana**

Este ambiente está constituido por lomas interserranas de morfología compleja que se adosan a los frentes serranos u ocupan amplios valles interserranos. Las lomas están constituidas esencialmente por depósitos del Pleistoceno tardío-Holoceno. Pueden alcanzar gran altura relativa (hasta 60 m) y su morfología es compleja, pasando de formas alongadas a subcirculares. Son difíciles de delimitar sus contornos debido al drenaje de pequeños cauces temporarios que modifican parcialmente su morfología.

Este relieve complejo está vinculado con los ciclos de deposición eólica y su morfología se debe a la interferencia que ofrecieron los cuerpos de las sierras a los paleovientos del oeste y sudeste, favoreciendo la mayor deposición de los limos que transportaban.

Los suelos desarrollados sobre la **Franja Eólica Periserrana** son la mayoría de aptitud agrícola y pueden separarse, por un lado, en asociaciones de suelos que constituidas por Argiudoles Líticos, Paleudoles Petrocálcicos y Argiudoles Típicos en las cercanías de las **Sierras** o en las lomas controladas por una estructura rocosa

subyacente. Las limitaciones más importantes de estos suelos para la producción son la profundidad efectiva y la susceptibilidad a la erosión hídrica debido a las pendientes pronunciadas. Por el otro, al oeste de las **Sierras** o en complejos de colinas con pendientes pronunciadas que se adosan a los frentes serranos y cuya altitud y extensión decrece al alejarse de las áreas más elevadas, los suelos dominantes son Paleudoles Petrocálcicos y Argiudoles Típicos. Las características intrínsecas de estos suelos no suelen afectar a la producción de cultivos, pero el riesgo de ocasionar daños a los cultivos o al recurso suelo se asocian a la susceptibilidad a los procesos erosivos debido a la elevada pendiente del terreno.

### **I.1.3. Planicie Fluvioeólica**

Esta unidad corresponde a la llanura que se extiende desde el ambiente franja eólica periserrana hacia el norte y noreste. Presenta una escasa pendiente (0,1% y menores) caracterizado por una asociación de Paleodunas parabólicas y paleodunas longitudinales. Estas geoformas fueron generadas por procesos eólicos tanto de erosión como de acumulación.

La red de drenaje está formada en general por cursos de escaso caudal que nacen en el ámbito serrano y desembocan en el mar. En la planicie fluvioeólica existe una densa red de drenaje que está en parte controlada por las paleodunas.

Los suelos que se han desarrollado son Argiudoles Típicos con deficiencias de drenaje, Hapludoles Tapto-Argícos y Nátricos y, Argialboles, Natralboles y Natracuoles Típicos. En estos suelos el factor en común es el exceso de humedad, el cual suele afectar al rendimiento de los cultivos. El sodio intercambiable en exceso es frecuente a partir de los sectores medios del perfil.

#### **I.2.1. Zona de Estudio**

Los lotes donde se realizaron los muestreos en las tres campañas (2002-03; 2003-04 y 2004-05) están ubicados en la **Franja eólica periserrana** y sus suelos pertenecen al Orden Molisoles y al Suborden Udoles.

Estando los suelos agrupados en dos Series Mar del Plata (Mp) y Balcarce (Bal), presentando en la primera un suelo Argiudol Típico fino, mixto, térmico y en la segunda Serie un Argiudol Petrocálcico fino, ilítico, térmico sin limitaciones físicas.

A continuación se detalla los porcentajes correspondientes a cada Serie en las diferentes campañas analizadas.

Año	Serie Mar del Plata	Serie Balcarce
2002/3	81.3%	18.7%
2003/4	68.8%	31.2%
2004/2005	61.5%	38.5%
Promedio	70.5%	29.5%

**I.2.1.1. Descripción del suelo típico de la Serie Mar del Plata (Mp) (INTA, 1979 actualizada según SSS, 2014)**

**ARGIUDOL TÍPICO**

Es un suelo oscuro, profundo, con fuerte desarrollo, su aptitud es agrícola, bien drenado, desarrollado sobre sedimentos loésicos franco limosos, no salino, no alcalino, en pendientes de 1 a 3 %. Ocupan el 35% del partido de Balcarce y se presenta en los tres ambientes geomórficos. Son de uso agrícola con algunas limitaciones por peligro de erosión por sus pendientes.

Presenta los siguientes horizontes:

- Ap.** 0-15 cm; pardo muy oscuro en húmedo; franco; bloques subangulares medios moderados que rompe a granular y migajosa fina, fuerte; muy friable; raíces abundantes; límite inferior abrupto suave.
- A.** 5-29 cm; negro en húmedo; franco; bloques subangulares finos, fuertes; friable; raíces abundantes; límite inferior claro y suave.
- AB.** 29-39 cm; pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; franco; bloques subangulares medios moderados que rompe a granular medios, fuertes; friable; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; raíces abundantes; límite inferior claro y suave.
- Bt<sub>1</sub>.** 39-58 cm; pardo a pardo oscuro en húmedo; franco arcilloso; prismas compuestos irregulares, gruesos, fuertes, que rompe a bloques subangulares medios, fuertes y a prismas menores finos; ligeramente firme; plástico, adhesivo; barnices húmico-arcillosos comunes; raíces comunes; límite inferior claro y suave.
- Bt<sub>2</sub>.** 58-76 cm; pardo a pardo oscuro en húmedo; franco arcilloso; prismas irregulares gruesos que rompe en prismas moderados y prismas menores; ligeramente firme; plástico, adhesivo; barnices húmico-arcillosos escasos; raíces escasas; límite inferior claro y suave.

**BC.** 76-110 cm; pardo a pardo oscuro en húmedo; pardo claro en seco; franco; prismas compuestos irregulares medios, débiles que rompe a bloques subangulares; firme; ligeramente plástico, no adhesivo; barnices húmico-arcillosos escasos; raíces escasas; límite gradual y suave.

**C.** 110-160 cm a +; pardo en húmedo; pardo claro en seco; franco arenoso; masivo; muy firme; raíces escasas.

Este suelo se encuentra distribuido geográficamente en los partidos de Gral. Pueyrredón, Balcarce, Mar Chiquita, Gral. Alvarado, Necochea, Lobería, Tres Arroyos, Olavarría, Azul, Juárez, Tandil, Maipú.

**I.2.1.2. Datos analíticos del perfil típico de la Serie Mar del Plata (INTA, 1979; descripción actualizada según SSS, 1999)**

**Tabla AI.1. Datos analíticos de los horizontes del perfil típico de un suelo Serie Mar del Plata (INTA, 1979) en el Partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina).**

Variable edáfica:	Horizonte						
Horizontes	Ap	A	AB	Bt <sub>1</sub>	Bt <sub>2</sub>	BC	C
Profundidad (cm)	3-9	22-28	29-31	45-50	65-70	85-91	128-150
Materia orgánica (%)	6,94	5,27	2,99	2,34	0,99	0,49	0,26
Carbono total (%)	4,03	3,06	1,74	1,36	0,58	0,29	0,04
Nitrógeno (%)	0,342	0,249	0,151	0,119	0,068	NA	NA
Relación C/N	12	12	11	11	9	NA	NA
Arcilla < 2 μ (%)	23,1	22,4	23,6	33,3	31,4	19,6	13,7
Limo 2-20 μ (%)	13,4	12,7	13,5	14,1	16,9	11,2	7,8
Limo 2-50 μ (%)	35,8	33,6	36,3	29,2	34,4	31,3	33,4
Arena muy fina 50-100 μ (%)	39,4	42,5	38,8	35,7	37,5	46,0	50,4
Arena fina 100-250 μ (%)	1,7	1,5	1,3	1,8	1,7	3,1	2,2
Calcáreo (%)	0	0	0	0	0	0	0
Eq.humedad (%)	30,1	28,8	39,8	37,8	37,5	23,6	15,8
Re. pasta Ohms	2958	3654	3480	2784	2610	4045	6090
pH en pasta	5,2	5,4	5,8	6,1	6,3	6,5	7,0
pH H <sub>2</sub> O 1:2,5	5,9	6,1	6,3	6,7	7,0	7,2	7,6
pH KCL 1:2,5	4,8	5,0	5,5	5,5	5,7	5,6	5,9

**CATIONES DE CAMBIO**

<b>Ca++ m.eq./100gr</b>	11,6	11,9	14,6	17,8	15,5	11,3	9,3
<b>Mg++ m.eq./100gr</b>	1,9	3,3	3,6	5,8	7,3	5,2	4,7
<b>Na+ m.eq./100gr</b>	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6
<b>K m.eq./100gr</b>	2,7	1,9	1,2	1,4	1,3	1,1	1,0
<b>H m.eq./100gr</b>	11,5	9,2	6,3	6,5	5,1	3,3	1,8
<b>Na (% de T)</b>	1,26	1,78	1,74	1,98	2,82	2,74	3,97
<b>Suma de Bases</b>	16,5	17,5	19,8	25,6	24,8	18,1	15,6
<b>CIC m.eq./100gr</b>	23,7	22,4	22,9	30,3	27,1	18,2	15,1
<b>Sat. con bases (%)</b>	70	78	87	85	91	99	100

**I.2.2.1. Descripción del suelo típico de la Serie Balcarce (Bal) (INTA, 1979 actualizada según SSS, 2014)**

**ARGIUDOL PETROCÁLCICO**

Es un suelo muy oscuro, moderadamente profundo y de aptitud agrícola, se encuentra en un paisaje de relieve suave a ondulado en posición de lomas y pendientes de la Subregión Sierras y Pedemonte del Sistema de Tandilia, bien drenado, formado en sedimentos loésicos fino, no alcalino, no salino, pendiente 1 a 3%. De uso agrícola con algunas limitaciones en el manejo por erosión y en algunos casos limitaciones por escasa profundidad en la zona radicular. Representa el 11,2% del Partido de Balcarce.

Se encuentra presente en partidos vecinos como Lobería, Gral Pueyrredón, Gral. Alvarado, Olavarría, Tandil, Azul, Juárez, Necochea y Coronel Pringles. Además se encuentra asociado a otros suelos como la Serie Mar del Plata.

Presenta los siguientes Horizontes:

**Ap.** 0-23 cm; negro en húmedo; gris oscuro en seco; franco; migajosa muy fina, moderada y granular fina; blando; muy friable; no plástico, ligeramente adhesivo; raíces abundantes; límite inferior claro, suave.

**BA.** 23-31 cm; pardo muy oscuro en húmedo; pardo grisáceo muy oscuro en seco; franco arcillo arenoso; bloques subangulares medios moderados que rompe a granular; duro; muy friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; raíces comunes; límite inferior claro, suave.

**Bt<sub>1</sub>.** 31-54 cm; pardo oscuro en húmedo; pardo en seco; franco arcilloso; prismas compuestos regulares, medios, moderados que rompe en prismas subangulares medios, débiles y finos; duro; muy firme; muy plástico, adhesivo; barnices "clayskins" abundantes; raíces escasas; límite inferior claro y suave.

**Bt<sub>2</sub>.** 54-70 cm; pardo a pardo oscuro en húmedo; pardo en seco; franco arcilloso; prismas compuestos regulares medios, moderados que rompe en bloques angulares y subangulares, medios, moderados; muy duro; ligeramente firme; plástico, adhesivo; barnices "clayskins" comunes; límite inferior abrupto y ondulado.

**2Ckkm.** 70 cm a +; tosca en plancha.

**I.2.2.2. Datos analíticos del perfil típico de la Serie Balcarce (INTA, 1979; descripción actualizada según SSS, 1999)**

**Tabla AII.2. Datos analíticos de los horizontes del perfil típico de un suelo Serie Balcarce (INTA, 1979) en el Partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina).**

Variable edáfica:	Horizonte				
Horizontes	Ap	BA	Bt <sub>1</sub>	Bt <sub>2</sub>	2Ckkm
<b>Profundidad (cm)</b>	5-15	25-30	35-50	60-70	70 a +
<b>Mat. orgánica (%)</b>	7,06	4,54	2,06	1,10	
<b>Carbono total (%)</b>	4,11	2,64	1,20	0,64	
<b>Nitrógeno (%)</b>	0,364	0,242	0,114	0,071	
<b>Relación C/N</b>	11	11	10	9	
<b>Arcilla &lt; 2 μ (%)</b>	25,7	27,8	31,3	29,3	
<b>Limo 2-20 μ (%)</b>	13,0	12,1	15,5	13,6	
<b>Limo 2-50 μ (%)</b>	31,5	27,3	28,3	35,0	
<b>Arena muy fina 50-100 μ (%)</b>	41,6	43,2	39,0	34,8	
<b>Arena fina 100-250 μ (%)</b>	1,2	1,7	1,4	0,9	
<b>Calcáreo (%)</b>	0	0	0	0	
<b>Eq. humedad (%)</b>	27,8	29,4	32,9	30,7	
<b>Re. pasta Ohms</b>	4370	5060	3634	3680	
<b>Cond. mmhos/cm</b>	S/D	S/D	S/D	S/D	
<b>pH en pasta</b>	5,8	6,3	6,5	6,7	

<b>pH H<sub>2</sub>O 1:2,5</b>	7,0	7,4	7,4	7,8
<b>pH KCL 1:2,5</b>	5,5	5,9	6,1	6,0
<b>Ca<sup>++</sup> m.eq./100gr</b>	17,9	18,5	19,6	18,5
<b>Mg<sup>++</sup> m.eq./100gr</b>	1,7	1,1	2,9	3,5
<b>Na<sup>+</sup> m.eq./100gr</b>	<b>0,3</b>	0,4	0,5	0,7
<b>K m.eq./100gr</b>	2,3	1,9	1,4	0,9
<b>H m.eq./100gr</b>	9,3	5,3	6,0	6,0
<b>Na (% de T)</b>	1,02	1,59	1,71	2,87
<b>Suma de Bases</b>	22,2	21,9	24,4	23,6
<b>CIC m.eq./100gr</b>	29,4	25,1	29,2	24,4
<b>95</b>	76	88	84	97

### I.3. Bibliografía

- INTA. 1979. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja: 3757-31, Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina.
- TOMÁS, M.; FARENGA, M.; BERNASCONI, M.V.; MARTÍNEZ, G.; MASSONE, H.; CABRIA, F.; CALANDRONI, M.; DILLON, G.; MAZZANTI, D.; PASTORIZA, E.; PILCIC, T.; ESPINOZA, A.; LANARI, M.E.; LÓPEZ, T.; LÓPEZ, J.; SALGADO, P. 2005. Atlas digital del partido de Balcarce, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. Revista Cartográfica N° 80 y 81.
- SSS. SOIL SURVEY STAFF. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci Soc Am J 64: 1496-1503.

# **ANEXO II**

## ANEXO II -CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA

### II.1. CARATERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DEL PARTIDO DE BALCARCE

La caracterización se realizó mediante información generada en la Estación Meteorológica de la Unidad Integrada (UIB) Facultad de Ciencias Agrarias - Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del INTA (37° 45' S, 58° 18' W, 130 msnm). La serie de tiempo utilizada es la comprendida entre 1971 y 2010, considerando que un periodo de 40-50 años es adecuado para la caracterización climática de una zona (Atlas climático Digital de la República Argentina).

En la zona de Balcarce un elemento topográfico importante lo constituye las Sierras de Tandilia que en forma discontinua emergen de la gran llanura ejerciendo un importante efecto orográfico sobre el clima de características muy regionales

El clima del partido de Balcarce se clasifica como mesotermal subhúmedo-húmedo (según Thornthwaite) o como templado húmedo sin estación seca (Cfb, según Köppen). Según Cabria *et al.* (2006) es de régimen údico (SSS).

#### II.1.1. Temperatura

Las temperaturas máximas, mínimas y medias diarias (Tablas II.1, II.2 y II.3, respectivamente), como así las amplitudes térmicas, presentan cambios estacionales, estando las más bajas entre junio y agosto (medianas). Las temperaturas máximas y mínimas presentan diferencias de importancia dependiendo entre otras causas a la ocurrencia o no de lluvias en el día y en los años Niña se da en forma más marcada en Noviembre y Diciembre para la temperatura máxima (San Martino *et al.*, 2002).

**Tabla AII.1. Estadísticos descriptivos temperatura máxima diaria del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010. Estación Meteorológica, UIB.**

Estadístico	Temperatura Máxima Diaria °C											
	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máximo	34,6	33,3	31,1	27,1	23,2	18,6	19,4	21,9	23,8	27,6	30,3	33,0
C <sub>3</sub>	30,2	28,9	26,9	22,9	18,3	14,8	14,2	16,7	18,9	21,9	24,9	28,4
Mediana	27,6	26,4	24,3	20,1	16,0	12,7	12,1	14,1	16,2	19,1	22,7	26,1
C <sub>1</sub>	25,0	23,9	21,7	17,7	13,9	10,8	9,9	11,4	13,4	16,4	19,2	22,8
Mínimo	19,4	18,7	16,9	13,4	10,1	7,9	6,8	7,5	9,2	11,9	14,6	18,4

C<sub>3</sub>: Tercer cuartil, C<sub>1</sub>: Primer cuartil

**Tabla AII.2. Estadísticos descriptivos temperatura mínima diaria del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010. Estación Meteorológica, UIB.**

Estadístico	Temperatura Mínima Diaria (°C)											
	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máximo	19,6	19,6	18,4	15,4	13,2	10,4	10,2	10,4	12,0	14,0	16	18,4
C <sub>3</sub>	16,3	15,8	14,7	11,3	8,4	5,8	5,2	6,0	7,2	9,8	11,7	14,4
Mediana	14,2	13,6	12,3	8,8	6,1	3,6	2,9	3,7	4,9	7,5	9,7	12,4
C <sub>1</sub>	11,5	11,0	9,7	6,4	3,7	1,5	0,7	1,4	2,3	5,0	7,0	9,4
Mínimo	6,9	6,5	5,3	2,4	-0,1	1,8	-2,6	2,4	-1,1	1,0	2,8	5,6

C<sub>3</sub>: Tercer cuartil, C<sub>1</sub>: Primer cuartil

**Tabla AII.3. Estadísticos descriptivos temperatura media diaria del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010. Estación Meteorológica, UIB.**

Estadístico	Temperatura Media Diaria (°C)											
	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máximo	22,9	22,2	20,5	16,1	13,7	9,9	10,4	11,9	12,5	15,0	19,8	21,5
C <sub>3</sub>	21,3	20,5	18,7	15,1	12,0	9,2	8,4	9,5	11,0	14,0	16,8	19,6
Mediana	20,7	19,7	18,0	14,3	11,1	8,4	7,4	8,9	10,6	13,2	16,1	18,8
C <sub>1</sub>	19,6	19,2	17,3	13,9	10,1	7,4	6,9	8,1	9,8	12,7	15,0	18,3
Mínimo	18,4	17,3	14,3	12,2	8,5	5,7	5,9	6,8	8,1	11,3	13,7	15,5

C<sub>3</sub>: Tercer cuartil, C<sub>1</sub>: Primer cuartil

Las medias de todos los años del estudio, superaron la media (1971-2010) entre 1,4 y 4%. El periodo analizado tiene una tendencia creciente de 0,61.

**Tabla AII.4. Temperatura media diaria del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010 y las campañas 2002-03, 2003-04 y 2004-05. ■ Valores superiores a la media (1971-2010).**

Periodo	Temperatura Media Diaria (°C)											
	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1971-2010	20,6	19,8	18,0	14,4	11,1	8,2	7,6	8,9	10,5	13,3	15,9	18,8

2002	20,8	19,1	17,5	14,1	12,4	7	7,7	10	10,2	14,8	16,8	19,5
2003	21,5	20,4	19,1	13,7	11,7	9,5	7,5	8,2	10,5	13,9	15,5	18
2004	21,4	19,3	20,0	16,1	9,7	9,9	8,5	9,2	10,9	13,3	16	19,9
2005	20,7	21	18,1	14,2	11,7	9,5						

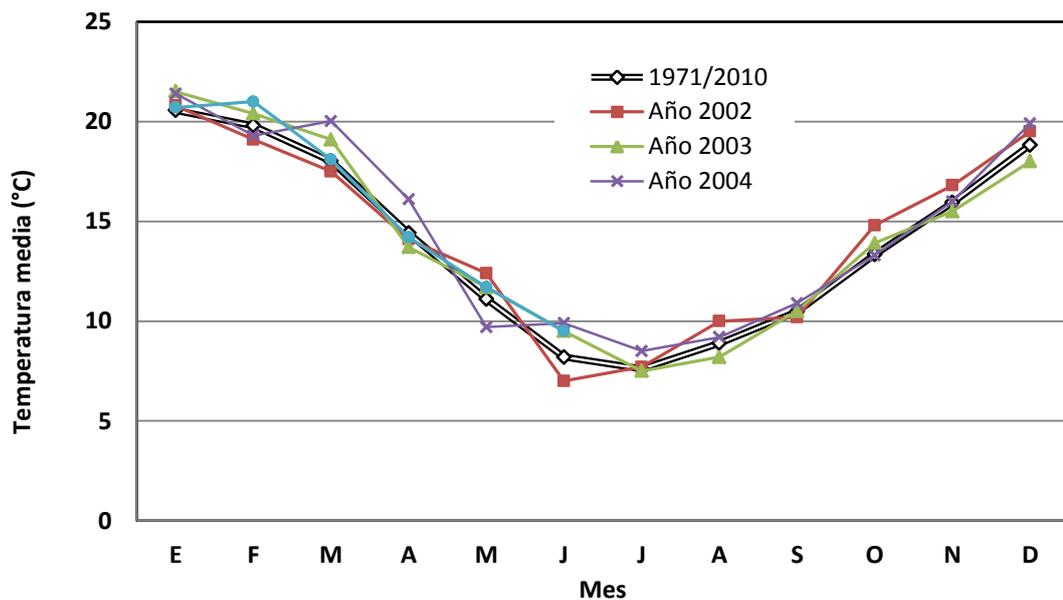


Figura AII.1. Temperatura media diaria del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010 y las campañas 2002-03, 2003-04 y 2004-05. Estación Meteorológica, UIB.

### II.1.2. Precipitaciones

Dentro de los elementos de tiempo el fenómeno de las lluvias, al igual que la niebla y el granizo se los consideran esporádicos a diferencia de la temperatura, presión, humedad del aire que siempre están definiendo el estado de la atmósfera en un lugar (Rubí Bianchi y Cravero, 2010).

Tabla AII.5. Estadísticos descriptivos de la precipitación mensual del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010. Estación Meteorológica, UIB.

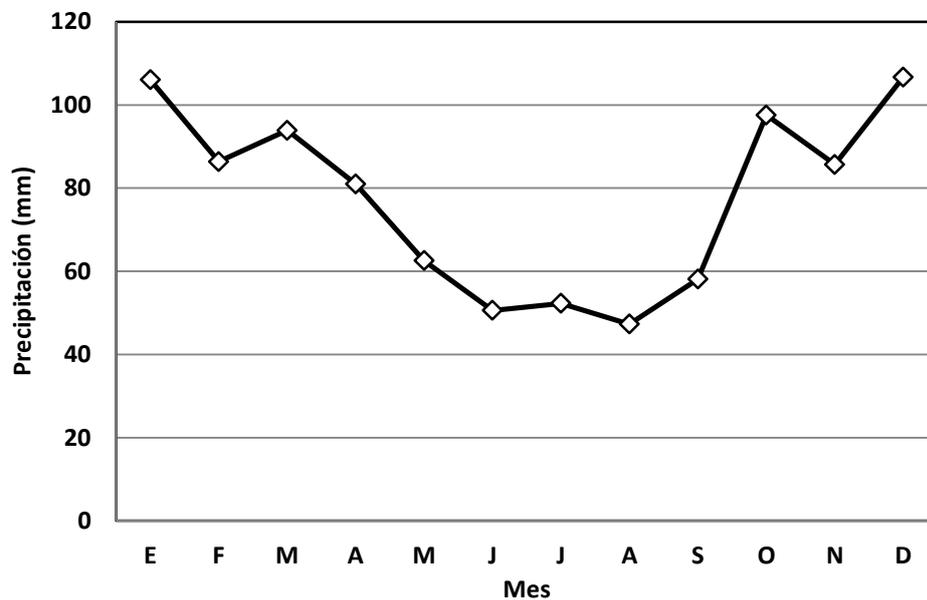
Estadístico	Precipitación Media Mensual (mm)											
	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máximo	200	224,5	239,6	378,7	196,5	164,6	136,3	146,4	183,1	275,8	229	283,3
C3	76,9	119,3	122,5	91,9	84	68,7	72,3	69,1	76,3	111,2	113,8	142,8

Mediana	102,9	79,9	81,4	57,6	46,3	47,6	53,9	38,5	52,1	87,1	68,5	96,8
C1	130,6	51,4	51,4	41,0	32,6	25,4	23,6	18,0	36,9	59,9	49,8	64,7
Mínimo	24,9	10,2	14,9	4	1	2,8	0	2,5	4,9	16	27,3	26

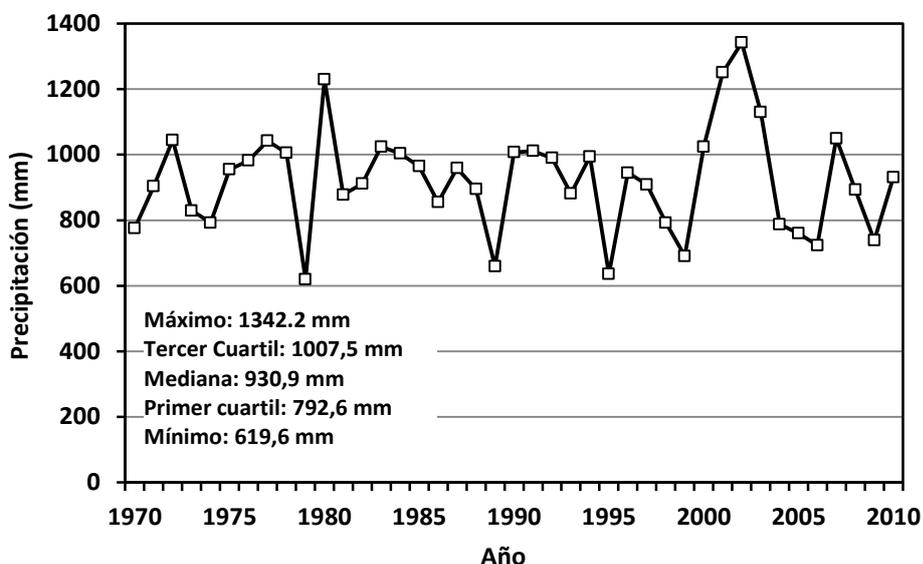
C<sub>3</sub>: Tercer cuartil, C<sub>1</sub>: Primer cuartil

La estación más seca es el invierno (J, J, A) con un valor de 150,2 mm y la estación más lluviosa el verano con 299,1 mm. Estos datos son similares a los obtenidos por Irigoyen *et al.* (1998) con una serie más prolongada (1930-1995) indicando además que posee una tendencia creciente. A diferencia en este aspecto donde la tendencia es levemente decreciente (-0,61).

El verano (D, E, F) es la estación dominante con tendencia creciente. En el verano y el otoño se producen los eventos de mayor intensidad en el intervalo diario. La contribución estacional marca la secuencia verano>primavera>otoño>invierno, el verano con tendencia creciente  $r=0.37$ ,  $p=0,002$  y el invierno decreciente  $r=-0.25$ ,  $p=0.04$  para periodo (1930-1995) (Irigoyen *et al.*, 1998).



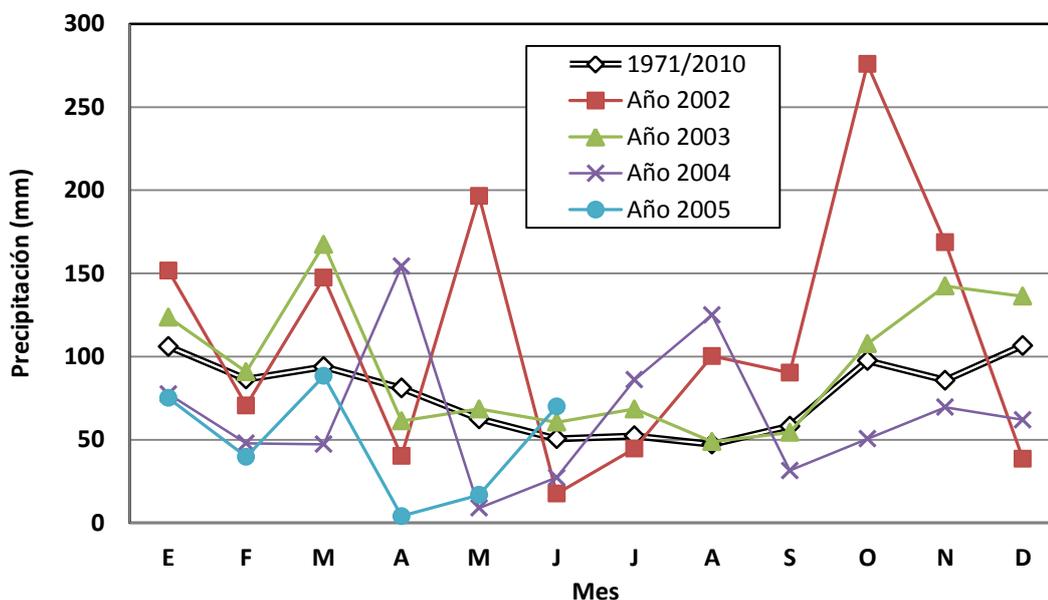
**Figura AII.2. Precipitación media mensual del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010. Estación Meteorológica, UIB.**



**Figura AII.3. Evolución de la precipitación acumulada anual del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010 y estadísticos descriptivos. Estación Meteorológica, UIB.**

En la Figura AII.3 se presenta la precipitación anual acumulada (1971-2010) y se puede observar que algunos años superan la media, encontrándose en el primer año que los muestreos realizados en el primer año (2002) dicho valor superó un 44,6 % a la media histórica, denominado como un año “no normal” ya que se diferenció de la media serial más de un desvío estándar, esto también se observó en el año 2003. El año 2002 presentó además precipitaciones anómalas en más de cuatro meses (Cabria *et al.*, 2006).

San Martino *et al.* (2002) indicó que una de las posibles causas de la variación interanual de las precipitaciones se debe o está asociado al fenómeno conocido como El Niño- Oscilación Sur (ENOS).



**Figura AII.4. Evolución de la precipitación mensual del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010 y los años de estudio (2002, 03, 04 y mitad del 2005). Estación Meteorológica, UIB.**

**Tabla AII.6. Precipitación mensual del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires) para el período 1971-2010 y los años del estudio (2002, 03, 04 y mitad del 2005). Estación Meteorológica, UIB.**

Periodo	Precipitación Media Mensual (°C)												
	Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1971-2010		106,1	86,4	93,9	81,0	62,5	50,6	52,3	47,3	58,1	97,6	85,7	106,7
2002		151,7	70,6	147,4	40,2	196,5	17,6	44,7	100,3	90,2	275,8	168,7	38,5
2003		123,7	90,8	167,3	61,3	68,5	60,5	68,5	48,8	54,4	107,7	142,4	136,3
2004		77,5	47,9	47,3	154,3	8,9	27,2	86,0	125,0	31,5	50,5	69,5	62,0
2005		75,1	39,7	88,3	4,0	16,8	69,9						

En la Tabla AII.6 y Figura AII.4 se puede observar que en el año 2002 llovió un 44,6% más que la media histórica (1971-2010) asimismo ocurrió en el 2003 con un 21,8% superior, en cambio en el año 2004 y 2005 la media anual fue en un 15,1 y 18,1% inferior a la media histórica. Si comparamos las diferentes estaciones vemos que en el año 2002 la estación más lluviosa fue la primavera y la menos lluviosa el invierno.

### II.1.3. ET<sub>0</sub> (Evapotranspiración de referencia Penman – Monteith)

La evapotranspiración es un proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera, incluyendo evaporación desde la superficie del suelo o de la planta y la transpiración a través de los tejidos (Della Maggiora *et al.*, 2000). Es función de las condiciones meteorológicas de la zona y de las características morfológicas y fisiológicas de la vegetación. Las especies vegetales presentan grandes diferencias por lo que se busca tratar la evapotranspiración con base a una superficie específica o de referencia. Por lo cual la evapotranspiración de referencia ET<sub>0</sub> o ET<sub>0</sub> representa un índice climático asociado al área de estudio. Las características de los cultivos se pueden cuantificar con un coeficiente de cultivo (Kc) y multiplicando con ET<sub>0</sub> se obtiene el requerimiento de agua del cultivo en cuestión.

Se conocen diversas metodologías para estimar la evapotranspiración teniendo diferencias en cuanto a su validación, para la zona de Balcarce la ecuación de Penman–Monteith ha sido descrita como un método confiable y de buena aptitud (Della Maggiora *et al.*, 1997).

La evapotranspiración es un componente importante del balance de agua del suelo y permite determinar los requerimientos de agua de los cultivos entre otras cosas. Irigoyen *et al.* (2004), trabajando con dos suelos típicos de la Franja Eólica Periserrana, Argiudol típico y Paleudol Petrocálcico, indicaron que presentan diferencias en el almacenaje de agua en el suelo pero expresado en relación con la capacidad de almacenaje no existen diferencias entre los perfiles. La siembra directa adoptada en la mayoría de los cultivos de la zona causa modificaciones en las propiedades físicas y de la superficie del suelo alterando los flujos en el sistema suelo-planta-atmósfera, como son la evaporación y la transpiración. El rastrojo en superficie puede disminuir la evaporación hasta un 30% (Bragagnolo *et al.* 1990).

Según Della Maggiora *et al.* (1998) en maíz las mayores deficiencias se producen con mayor frecuencia y estas coinciden con el periodo crítico fin de diciembre primeros 15 días de Enero, de 15 a 42 mm. En trigo las deficiencias son menos variables desde Fin de Octubre a fin del ciclo. Los valores de deficiencia resultan alrededor de 15 mm por década en el 50 % de los años con deficiencia. La frecuencia de años con deficiencia en el periodo crítico fin de octubre y los primeros 20 días de noviembre va de 20 a 36%.

**Tabla AII.7. Estadísticos descriptivos de la evapotranspiración de referencia (según Penman-Monteith) diaria del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires) para el período 1971-2010. Estación Meteorológica, UIB.**

<i>Estadístico</i>	Evapotranspiración de referencia media diaria ET0 (mm)											
	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máximo	6,8	5,9	4,6	3,2	2,2	1,6	1,7	2,5	3,6	4,6	5,8	6,6
C <sub>3</sub>	5,5	4,7	3,6	2,3	1,4	1,0	1,1	1,7	2,5	3,4	4,5	5,3
Mediana	4,9	4,2	3,1	1,9	1,1	0,7	0,8	1,4	2,1	3,0	4,0	4,8
C <sub>1</sub>	4,3	3,6	2,5	1,5	0,8	0,6	0,6	1	1,6	2,3	3,1	4,0
Mínimo	2,7	2,3	1,5	0,9	0,4	0,2	0,3	0,5	1,0	1,4	2,0	2,7

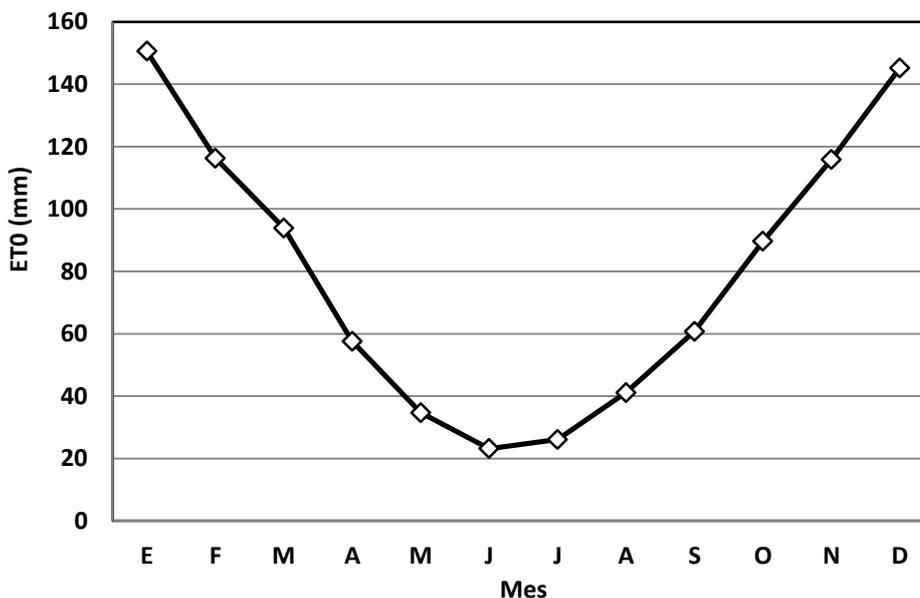
C<sub>3</sub>: Tercer cuartil, C<sub>1</sub>: Primer cuartil

Los valores más elevados se presentan en los meses de octubre a marzo, primavera – verano, tendencia que se puede visualizar en la Tabla AII.8.

**Tabla AII.8. Estadísticos descriptivos de la evapotranspiración de referencia (según Penman-Monteith) mensual del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires) para el período 1971-2010. Estación Meteorológica, UIB.**

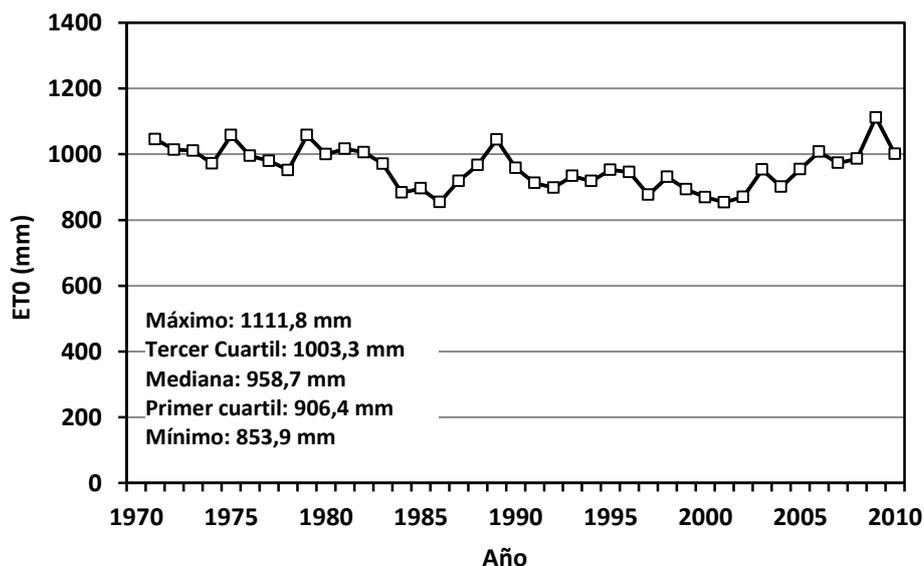
<i>Estadístico</i>	Evapotranspiración de referencia media mensual ET0 (mm)											
	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máximo	190,0	143,8	120,1	75,3	59,8	41,7	39,2	59,2	80,4	118,1	143,7	184,1
C <sub>3</sub>	155,8	123,7	99,6	61,5	38,1	27,2	28,6	47,0	68,05	96,9	125,1	153,0
Mediana	150,2	114,4	93,5	57,9	34,9	23,4	25,6	42,9	60,7	90,8	113	145
C <sub>1</sub>	139,4	107,7	86,7	51,6	31,1	20,2	23,3	36,6	57,6	81,9	107,7	136,0
Mínimo	129,3	97,2	71,4	45,2	22,2	14,8	19,2	28,8	44	62,6	91,1	121,1

C<sub>3</sub>: Tercer cuartil, C<sub>1</sub>: Primer cuartil



**Figura AII.5. Evolución de la Evapotranspiración de referencia mensual del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010 y estadísticos descriptivos. Estación Meteorológica, UIB.**

La mediana de evapotranspiración de referencia acumulada anual para el período considerado es de 958.7 mm (Figura 6.AII).



**Figura AII.6. Evolución de la Evapotranspiración de referencia anual del partido de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) para el período 1971-2010 y estadísticos descriptivos. Estación Meteorológica, UIB.**

## **II.2. Bibliografía**

- RUBÍ BIANCHI, A.; CRAVERO, S.A. 2010. Atlas Climático Digital de la República Argentina. Ediciones INTA. 57 p.
- SAN MARTINO, S.; DELLA MAGGIORA, A.; MONTERUBBIANESI, G. 2002. El régimen de temperaturas máximas y mínimas y amplitudes térmicas en Balcarce (Argentina) y su relación con el ENOS y la ocurrencia de precipitaciones. *Rev. Arg. Agrometeorología*, 2(1): 89-96.
- IRIGOYEN, A.I.; SUERO, E.E.; J.M. GARDIOL. 1998. Tendencia y estacionalidad de la precipitación en Balcarce. En CD. Actas X Congreso Brasileiro de Meteorología y VIII Congreso de la Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología. Brasilia, Brasil. 26-30 de octubre de 1998.
- IRIGOYEN, A.I.; DELLA MAGGIORA, A.I.; CABRIA, F.N. 2004. Balance de agua seriado para tres perfiles de suelo del ambiente geomorfológico lomas interserranas de Balcarce (Arg.). En CD. Actas “X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología”. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. 13-15 de octubre de 2004.
- CABRIA, F.N.; LHOMME, F.; IRIGOYEN, A.I. 2006. Determinación del régimen de humedad en suelos del partido de Balcarce a partir del balance de agua diario seriado. Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy Argentina. 19 al 22 setiembre.
- DELLA MAGGIORA, A.I.; ECHARTE, L.; SUERO, E.E.; IRIGOYEN, A.I. 1998. Deficiencia de agua en los cultivos de maíz, girasol, soja y trigo en la localidad de Balcarce. En CD. Actas X Congreso Brasileiro de Meteorología y VIII Congreso de la Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología. Editadas. Brasilia, 26 a 30 de octubre de 1998.
- DELLA MAGGIORA, A.I.; GARDIOL, J.M.; IRIGOYEN, A.I. 2000. Requerimientos hídricos. En F. Andrade y V. Sadras (eds). Bases para el manejo del maíz, girasol y soja. Editorial Médica Panamericana S.A. Buenos Aires. Argentina. pp. 155-171.
- DELLA MAGGIORA, A.I.; GARDIOL, J.M.; IRIGOYEN, A.I.; ECHARTE, L. 1997. Estimación de la evapotranspiración de referencia con el método de Penman – Monteith en Balcarce. . *Rev. de la Fac. de Agron.* Tomo 17 N° 1:123-126.

SSS. 1999. Soil Taxonomy: a basic system of classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed., Handbook N° 436, Soil Survey Staff, Natural Resource Conservation Service. United States Department of Agriculture. Washington, DC, E.E.U.U.

DALMAGO, G.A; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; COMIRAN, F; HECKLER, B.M.M. Evapotranspiração do milho em sistemas de semeadura direta e convencional. En CD. Actas “X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología”. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. 13-15 de octubre de 2004.