

Biocombustibles en Argentina

Impactos de la producción de soja sobre los humedales y el agua

Biofuels in Argentina

Impacts of soybean production on wetlands and water

Lorena P. Herrera, José Luis Panigatti, María P. Barral y Daniel E. Blanco



Biocombustibles en Argentina

Impactos de la producción de soja sobre los humedales y el agua

Biofuels in Argentina

Impacts of soybean production on wetlands and water

Lorena P. Herrera¹, José Luis Panigatti², María P. Barral¹ y Daniel E. Blanco³

¹ Unidad Integrada EEA Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

² Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo

³ Fundación Humedales / Wetlands International Argentina

Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales
Wetlands International Argentina

2013



Biocombustibles en Argentina: impactos de la producción de soja sobre los humedales y el agua / Lorena P. Herrera ... [et.al.].
- 1a ed. - Buenos Aires: Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales, 2013.
104 p. : il. ; 30x21 cm.

ISBN 978-987-24710-8-8

1. Ecología. 2. Soja. 3. Humedales. I. Herrera, Lorena P.
CDD 551.41

El contenido de esta publicación puede ser reproducido libremente para fines de educación, difusión y para otros propósitos no comerciales. Un permiso previo es necesario para otras formas de reproducción. En todos los casos se debe otorgar el crédito correspondiente a la Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International.

The contents of this publication may be reproduced for educational, journalistic, and other non-commercial purposes. Prior permission must be given for all other purposes. Full acknowledgement must always be given to Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International.

ISBN: 978-987-24710-8-8

Esta publicación puede citarse como sigue / *This publication should be cited as follows:*

Herrera, L.P., J.L. Panigatti, M.P. Barral y D.E. Blanco. 2013. Biocombustibles en Argentina. Impactos de la producción de soja sobre los humedales y el agua. Fundación Humedales / Wetlands International. Buenos Aires, Argentina.

Publicado por / *Published by:* Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International.

<http://lac.wetlands.org/>

Foto de tapa: Agricultura en los alrededores del Delta del Paraná, por Rubén D. Quintana.
Cover photograph: Agriculture surrounding the Parana Delta, by Rubén D. Quintana.

Diagramación y coordinación gráfica / *Designed by:* Pablo Casamajor

Impreso en / *Printed by:* Talleres Gráficos Leograf S.R.L., J. I. Rucci 408, Valentín Alsina - Pcia. de Bs. As., Argentina.

Impreso sobre / *Printed on:* papel obra de 90 gramos y tapas en cartulina ilustración de 300 gramos.

El material presentado en esta publicación y las designaciones geográficas empleadas no implican opinión alguna de parte de la Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International sobre la situación legal de cualquier país, territorio o área, o en relación a la delimitación de sus fronteras.

The contents and geographical designations employed in this report do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International concerning the legal status of any country, area or territory, or concerning the delimitation of its boundaries or frontiers.

La presente publicación ha sido realizada gracias al apoyo de IUCN-NL, Wetlands International y Both ENDS en el marco de la Alianza Ecosistemas.

The present publication was carried out thanks to the support of IUCN-NL, Wetlands International and Both ENDS in the framework of the Ecosystem Alliance.



Prólogo

El mundo comienza a darse cuenta de las presiones a las cuales está sujeto el planeta para dar satisfacción (e insatisfacción) a las demandas de sus habitantes. Estas presiones han producido, producen y producirán cambios sobre los ecosistemas y sus propiedades fundamentales que, por otro lado, influyen directa e indirectamente sobre la provisión de bienes y servicios ecosistémicos que sostienen el bienestar de la sociedad. Algunos de esos cambios incluyen el cambio climático, la composición de la atmósfera, las grandes transformaciones en los usos de las tierras, la degradación de los suelos, pérdida de biodiversidad y sus hábitats, las demandas de una población que aumenta y requiere mayores y mejores alimentos, fibras y energía, entre otros factores.

En esta publicación se aborda la problemática del gran *boom* de la producción de soja en Argentina en el contexto de la producción de biocombustibles y cómo los cambios generados afectan y podrían afectar aun más a los humedales, a la calidad y cantidad de agua en los ecosistemas y, consecuentemente, a la población. Cabe aclarar que este trabajo plantea un análisis desde la perspectiva de la conservación de los humedales y de la biodiversidad y, obviamente, sus conceptos y reflexiones reflejan la preocupación que desde este ámbito se percibe.

En su cuerpo se provee de información recopilada muy completa sobre el marco legal, el nacimiento y el desarrollo de la producción de soja y el impulso dado a la producción de biocombustibles como un esfuerzo por brindar solución a la incipiente crisis energética que hay en el país y en todo el mundo. Se deja también constancia de la preocupación por las externalidades que estos planteos productivos generan y generarán en el futuro sobre el ambiente. Entre las más notables podemos mencionar por un lado los efectos negativos sobre la integridad y la calidad del suelo, el agua, la biodiversidad y sus servicios y el estado general de los humedales conectados a las áreas agrícolas. Y por otro, los cambios sociales vinculados a la tierra, su tenencia y los procesos migratorios que surgen de los cambios tecnológicos asociados a la producción de soja. Un rasgo interesante de esta publicación es que los autores no se quedan en el diagnóstico, sino que producen un conjunto de recomendaciones que, de implementarse, seguramente mejorarían de manera notable el desempeño ambiental de la producción de soja, no solo para producir biocombustibles sino también para otros propósitos.

En el análisis que se realiza en esta publicación, se visualiza también el balance entre los costos, ambientales y sociales, y los beneficios productivos asociados a la sojización de los ecosistemas, incluidos sectores de humedales, y podría interpretarse que éstos se neutralizan y no se llegaría a los resultados esperados para resolver la crisis energética. Además, estos procesos de desarrollo basados en un monocultivo podrían dejar a los ecosistemas en situaciones de riesgo y pérdida de resiliencia socioambiental. Esta propiedad fundamental de la sostenibilidad nos habla de la capacidad que los sistemas socioecológicos retengan para seguir produciendo bienes y servicios, conservando la estructura y función de los ecosistemas, ante los cambios y perturbaciones resultantes de un sinnúmero de incertidumbres vinculadas a las variables del clima y las actividades antrópicas.

Sin dudas, en esta publicación hay argumentos que generarán resistencia en el ámbito de la producción, pero marca un espacio de reflexión para el análisis integral y dialogado desde los conservacionistas hasta los produccionistas. De este espacio surgirán propuestas constructivas y virtuosas para la gestión concertada del ambiente, y la necesaria compatibilización entre producción con conservación.

Prof. M.Sc. María Elena Zaccagnini

Coordinadora Nacional en Gestión Ambiental
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Prologue

The world is beginning to realize the pressures to which the planet is subject to towards satisfying (or not satisfying) the demands of its people. These pressures produced, are producing and will produce changes to ecosystems and their fundamental properties, while directly and indirectly influencing the provision of ecosystem goods and services which support societies' well-being. Some of these changes include climate change, changes in atmospheric composition, major shifts in land use, soil degradation, and biodiversity loss and habitats due to demands of a growing population, which requires more and better food, fiber and energy, among other needs.

This publication addresses the problem of the great boom in soybean production in Argentina in the context of biofuels production, and how this process affects and could further affect wetlands, the quality and quantity of water, and consequently, the human population. It should be noted that this study presents an analysis from the perspective of conservation of wetlands and biodiversity, and obviously, its concepts and thoughts reflect the concern as perceived from this perspective.

This body of work provides a very comprehensive compilation of information on the legal framework, the birth and development of soybean production, and the impetus given to the production of biofuels, as an effort to provide a solution to the emerging energy crisis in Argentina and worldwide. The authors provide evidence for concerns about the effects on the environment from the externalities that are generated, and will be generated. Among the most notable effects mentioned are the negative impact on the integrity and quality of soil, water, biodiversity and its services, and the general state of wetlands connected to agricultural areas. Also, social changes related to land tenure and migration processes arising from technological changes associated with soybean production. An interesting feature of this book is that the authors do not confine themselves to the diagnosis, but produce a set of recommendations that, if implemented, could likely improve the environmental amicability of soybean production significantly, not only for biofuels but also for other production purposes.

The analysis made in this publication also displays a balance between costs, both environmental and social, and benefits to production associated with soybean expansion in ecosystems, including wetlands, which can be interpreted as cancelling one another, so that the expected results to solve the energy crisis are not obtained. In addition, the developmental processes based on a monoculture could leave ecosystems at risk and lead to loss of socio-environmental resilience. This fundamental property of sustainability is the capacity social-ecological systems retain to continue to produce goods and services, while maintaining the structure and function of ecosystems, in the face of changes and disruptions from uncertainties linked to climate variables and human activities.

Undoubtedly, arguments in this publication will meet resistance from the production sector, but it defines a space for reflection towards a comprehensive analysis and dialogue across the spectrum from conservation to production. From this will emerge virtuous and constructive proposals for the joint management of the environment and the necessary compatibility between production and conservation.

Prof. M.Sc. María Elena Zaccagnini

Coordinadora Nacional en Gestión Ambiental
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Prefacio y agradecimientos

En la actualidad la soja representa más del 60% de la superficie cultivada de la Argentina, siendo el principal cultivo para la producción de biodiesel y convirtiendo al país en el cuarto productor de biocombustibles y en el primer exportador a nivel mundial. La presente publicación es el resultado de un profundo análisis de fuentes de información secundaria nacional e internacional, con el objetivo de recopilar y analizar la información actual disponible en relación a la expansión del cultivo de soja en Argentina y en los impactos de dicha actividad sobre los ecosistemas de humedales, ya sean estos actuales o potenciales.

En una primera parte se desarrolla la historia de los biocombustibles en general y del cultivo de soja en particular dentro del territorio argentino, se describen los impulsores de desarrollo de los biocombustibles y los aspectos técnicos vinculados a la producción de soja. Se detallan las áreas de producción del cultivo en Argentina representadas en dos zonas: zona primaria (zona núcleo de producción) y zona secundaria (zona en expansión), y se contextualiza dentro del marco legal ambiental vigente. Por último, se describen los ecosistemas de humedales de Argentina y su distribución respecto a ambas zonas de producción de soja.

Finalmente, y en base a la información recabada, se analizan y discuten los impactos de la producción del cultivo de soja en Argentina sobre la integridad ecológica de los humedales y los bienes y servicios asociados, poniendo especial interés en la distribución y abundancia de los humedales, la salud del suelo, la calidad y disponibilidad del agua, la biodiversidad y el desarrollo social.

En primer lugar queremos agradecer a la iniciativa Ecosystem Alliance (Comité Holandés de la UICN, Wetlands International y Both Ends) por el apoyo para la presente publicación.

Nuestro agradecimiento también a las siguientes instituciones y personas por su apoyo y colaboración en el desarrollo de la presente publicación:

- A los expertos que entrevistamos: Cristina Arregui, Jaime Bernardos, Julie Brodeur, Eugenio Cap, Pablo Collins, José Luis Costa, Ana M. Gagnetten, Jorge Hernández, Mercedes Marchese, Jorge Medina, Roberto Olivares, Laura Orduna, Claudia Oroná, María C. Panigatti, Carlos Paoli, Juan C. Parera, Pablo Peraud, Jorge Peyrano, Miguel Pilatti, Rubén Quintana, Diego Rodríguez, Marcelo Romano, Martín R. Romano, Pedro Schaefer, Enrique Sierra, María Elena Zaccagnini y Juan C. Zembo.
- A Jorge Hilbert por sus comentarios sobre una lectura crítica del primer documento de esta publicación.
- A Carmen Penedo por el trabajo de revisión de estilo y edición.
- A Jeffrey Thompson por su colaboración en la traducción al inglés del Prólogo y Resumen Ejecutivo.
- A Claudio Baigún, Jorgelina Oddi, José Luis Panigatti, Donald Peck, Rubén D. Quintana, Marcelo Romano, Jimena Frojan / Round Table of Responsible Soy (RTRS) y Fernando Salvucci por el préstamo de las fotografías que ilustran esta publicación.

Daniel E. Blanco

Director Ejecutivo
Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de
los Humedales / Wetlands International Argentina

Foreword and Acknowledgments

Currently soybean accounts for over 60% of the cultivated area of the country and is the main crop for biodiesel production, making Argentina the world's fourth largest producer of biofuels and the largest exporter. This publication is the result of a deep analysis of national and international information, with the goal of compiling and analyzing current information regarding expansion of soybean crop in Argentina as well as current and potential impacts on wetland ecosystems.

The first part is about biofuels in general and soybean crop cultivation in Argentinian territory. Drivers for biofuel development and the technical aspects related to soybean crop production are described as well. A characterization of the areas used for soybean crop in Argentina is included, represented in two major production regions: primary zone (production core zone) and a secondary zone (expansion zone), set in the context of current environmental legal framework. Lastly, wetland ecosystems of Argentina are presented and their location in relation with the two soybean crop production zones is described.

Finally, based on the information collected, we analyzed and discussed the impacts of soybean production over wetlands ecological integrity and their associated goods and services in Argentina, with focus on wetlands distribution and abundance, soil health, water quality and availability, biodiversity and social development.

We want to thank the Ecosystem Alliance initiative (UICN-NL, Wetlands International and Both ENDS) for making possible this publication.

- To the experts interviewed: Cristina Arregui, Jaime Bernardos, Julie Brodeur, Eugenio Cap, Pablo Collins, José Luis Costa, Ana M. Gagneten, Jorge Hernández, Mercedes Marchese, Jorge Medina, Roberto Olivares, Laura Orduna, Claudia Oroná, María C. Panigatti, Carlos Paoli, Juan C. Parera, Pablo Peraud, Jorge Peyrano, Miguel Pilatti, Rubén Quintana, Diego Rodríguez, Marcelo Romano, Martín R. Romano, Pedro Schaefer, Enrique Sierra, María Elena Zaccagnini and Juan C. Zembo.
- To Jorge Hilbert for his comments on a critical reading of the first document of this publication.
- To Carmen Penedo for the revision and editing work.
- To Jeffrey Thompson for his collaboration in the English translation of the Prologue and Executive Summary.
- To Claudio Baigún, Jorgelina Oddi, José Luis Panigatti, Donald Peck, Rubén D. Quintana, Marcelo Romano, Jimena Frojan / Round Table of Responsible Soy (RTRS) and Fernando Salvucci, for the photographs that illustrate this publication.

Daniel E. Blanco

Executive Director

Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International Argentina

Biocombustibles en Argentina

Impactos de la producción de soja sobre los humedales y el agua

Índice

Resumen ejecutivo	1
Capítulo 1 - Introducción	3
Capítulo 2 - Biocombustibles en Argentina	5
Marco jurídico y normativo nacional e internacional	5
Legislación ambiental	5
Biocombustibles y soja	5
Inversiones en la agricultura e impulsores del desarrollo de los biocombustibles	6
Historia del desarrollo de los biocombustibles en la Argentina	7
Debate nacional actual sobre los biocombustibles	9
Capítulo 3 - El cultivo de soja	11
Historia del cultivo de soja en la Argentina	11
Área actual y tendencias para la producción de biocombustible a partir de soja ..	11
Descripción de las áreas usadas para el cultivo de soja	12
Región primaria	12
Región secundaria	12
Descripción del sistema de tenencia de la tierra en las áreas de producción de soja	14
Descripción de los sistemas de cultivo	14
Técnicas de producción	14
Principales agroquímicos	15
Glifosato	15
Cipermetrina	16
Clorpirifos	16
Endosulfan	16
Capítulo 4 - Impactos sobre los humedales	17
Ecosistemas de humedales en la Argentina	17
Región primaria	18
Región secundaria	18
Impactos sobre los humedales	19
Distribución y abundancia de humedales	20
Servicios ecosistémicos	21
Salud del suelo	23
Calidad y disponibilidad de agua	25
Fauna	27
Flora	29
Desarrollo social y seguridad alimentaria	29
Resumen de impactos	30
Distribución y abundancia de humedales	30
Salud del suelo	30
Calidad y disponibilidad de agua	30
Flora y Fauna	30
Desarrollo social y seguridad alimentaria	30
Capítulo 5 - Conclusiones y recomendaciones	33
Recomendaciones	35
Capítulo 6 - Bibliografía y consultas	37

Resumen ejecutivo

Los biocombustibles surgen como respuesta al acelerado agotamiento de los recursos energéticos fósiles y como un producto cuya combustión reduce la emisión de gases de efecto invernadero respecto a los carburantes fósiles. Sin embargo, con el incremento del empleo de biocombustibles a partir de cultivos agrícolas, se ha originado un debate acerca de los impactos de estos productos sobre el medio ambiente. Principalmente representan un riesgo para la biodiversidad, debido a que su gran rentabilidad ha favorecido el reemplazo de áreas naturales o semi-naturales para su cultivo, marginando además a las comunidades aborígenes y locales. De esta manera también podrían estar produciendo una mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero de las que evitan. Con la introducción de la soja resistente a glifosato en Argentina en 1996 de la mano de la siembra directa, este cultivo creció a una tasa sin precedentes. En la actualidad la soja representa más del 60% de la superficie cultivada del país, siendo el principal cultivo para la producción de biodiesel. Esto convierte a la Argentina en el cuarto país productor de biocombustibles y en el primer exportador a nivel mundial.

Los principales factores relativos a la producción de soja que afectan la distribución y abundancia de los humedales, se traducen directamente en su desaparición e indirectamente en su degradación, así como en la pérdida de conectividad y biodiversidad asociada. Todo ello conduce a la pérdida de valiosas funciones ecosistémicas y, en consecuencia, a la pérdida de los bienes y servicios que los humedales proveen a la sociedad, como la disminución de la intensidad de los efectos de las inundaciones sobre ecosistemas vecinos, la presencia de reservorios de agua para consumo y producción, la retención y fijación de sedimentos y contaminantes, el mejoramiento de la calidad de agua, el almacenaje de carbono orgánico en el suelo, la producción de forraje para ganado doméstico, la provisión de ambientes de interés paisajístico, etc.

En relación a la salud del suelo, el proceso de agriculturización con predominio de soja trae aparejado la pérdida de cobertura del suelo por el reducido aporte de rastrojos, acelerada extracción de nutrientes, pérdida de biodiversidad edáfica, cambios en los balances hídricos en especial en aquellas zonas con baja aptitud agrícola, procesos de salinización, alcalinización, acidificación y compactación del suelo, entre otros.

Si bien la producción del cultivo de soja puede afectar la calidad y la disponibilidad de agua a través de la contaminación y la eutroficación de los cuerpos de agua en zonas de cultivo, la evidencia sugiere que estos impactos serían relativamente bajos debido a que los agroquímicos utilizados en la producción de soja tienen baja persistencia en el agua y/o son neutralizados por los sedimentos o partículas en suspensión. Aún así, se han registrado evidencias de impactos negativos sobre la fauna y flora de humedales aledaños a cultivos de soja, como la disminución del tamaño poblacional de organismos acuáticos, cambios fisiológicos/etológicos en anfibios y peces, toxicidad de algas por agroquímicos y cambios en la estructura de las comunidades riparias.

Finalmente, en relación al ámbito social, la alta mecanización y la disminución de la demanda de mano de obra para la producción de soja ha conducido a la concentración de la tierra y la desaparición de pequeños productores, junto con la pérdida de puestos de trabajo, medios de vida tradicionales y de la cultura de campo.

La evidencia recabada en este trabajo demuestra que, a pesar de la disponibilidad de tecnología para la obtención de mayores rendimientos y calidad con menores efectos ambientales, la falta de planificación y los intereses económicos conducen a un manejo de los cultivos con escasa a nula atención a la conservación de los recursos naturales, y en particular de los humedales. Las prácticas de cultivo de soja y la expansión de la producción hacia zonas ambientalmente sensibles y frágiles, son los aspectos más importantes y preocupantes acerca del modelo productivo actual predominante. No obstante, en la mayoría de los casos la importancia de los humedales no es reconocida aún, ni siquiera desde el punto de vista de la producción, lo cual resulta en su degradación y en serios impactos ambientales.

Este informe presenta una serie de recomendaciones orientadas a que la producción de cultivo de soja sea compatible tanto con el mantenimiento de las funciones que ofrecen los ecosistemas, como con el desarrollo de las comunidades locales. En este sentido, es fundamental impulsar el ordenamiento ambiental del territorio como una herramienta clave para restringir la expansión del cultivo de soja, evitando su entrada en áreas de alto valor para la conservación de la biodiversidad, así como promover medidas para prohibir el cultivo en los bordes de ríos, arroyos, lagos y lagunas, previniendo la contaminación por agroquímicos resultado de la deriva y escorrentía y creando refugios para la biodiversidad. El desarrollo de lineamientos de "buenas prácticas agrícolas" que incorporen el componente ambiental en toda su magnitud y su promoción entre los productores es clave para favorecer el monitoreo ambiental, el manejo integrado de plagas así como el uso responsable de agroquímicos en establecimientos agropecuarios dedicados al cultivo de soja. De esta manera, es necesario identificar indicadores específicos para el monitoreo de los impactos socio-ambientales del avance de la soja sobre los humedales.

Apoyar y fomentar la investigación relacionada con la contaminación del agua permitiría avanzar para establecer directrices de gestión para la mitigación de los efectos de la producción de soja, generando tecnologías alternativas que en el mediano plazo reduzcan el uso de glifosato, así como fomentar y fortalecer las interacciones entre los profesionales en las disciplinas científicas y tecnológicas relacionadas con la investigación ambiental, programas sostenibles de producción, extensión y tomadores de decisión. Por último, es indispensable concientizar a los productores y a otros actores de la cadena de producción de la soja sobre la importancia de los humedales y su papel como proveedores de bienes y servicios claves para la sociedad, y para la actividad productiva en particular.

CAPÍTULO 1

Introducción

Durante los últimos años se ha registrado un crecimiento económico a nivel mundial que está acelerando el agotamiento de los recursos energéticos fósiles. Surge la necesidad de encontrar energías alternativas a un costo que permita sostener dicho crecimiento con el menor impacto en el medioambiente. Los biocombustibles son promocionados bajo este contexto, principalmente como un producto cuya combustión emite menos gases de efecto invernadero (GEI) respecto a los combustibles fósiles. Sin embargo, con el incremento del empleo de los biocombustibles se ha originado un debate sobre los impactos de estos productos. Se argumenta que los biocombustibles representan un riesgo para la biodiversidad debido principalmente al reemplazo de áreas vírgenes para su cultivo, marginando a las comunidades aborígenes y locales, y produciendo una mayor cantidad de emisiones de GEI de las que evitan (FAO 2008).

Dada la creciente demanda de biocombustibles a nivel mundial, cuya tendencia esperada es que continúe aumentando durante los próximos años (Doornbosch y Steenblik 2007, FAO 2008), se espera también un incremento de la superficie de tierras que serán destinadas a la producción de biocombustibles (FAO 2008). Dado que la tecnología y las políticas sobre

biocombustibles evolucionan a un ritmo acelerado, es difícil generalizar los impactos específicos de los mismos, ya que cada tipo de combustible y sistema de producción repercute de manera diferente (Righelato y Spracklen 2007, Fargione *et al.* 2008, Searchinger *et al.* 2008). Existen escasos datos sobre los efectos asociados específicamente con una mayor producción de biocombustibles, aunque la mayor parte de los impactos son similares a los ya conocidos para la producción agrícola: escasez y contaminación del agua, degradación del suelo, agotamiento de los nutrientes y pérdida de la biodiversidad silvestre y agrícola; a esto hay que sumarle el riesgo de competencia por la tierra agrícola de los cultivos destinados a la producción de alimentos (FAO 2008). Por lo tanto, es necesario considerar los cambios directos e indirectos del uso de la tierra, causados por el aumento de la producción de biocombustibles, para comprender en profundidad los posibles efectos sobre el medio ambiente, los recursos naturales y la biodiversidad.

Argentina está inmersa en este panorama general de producción de biocombustibles, ha firmado el Protocolo de Kyoto en julio de 2001 (Ley Nacional N° 25.438), participando del Artículo 12 que impulsa el desarrollo limpio. Argentina tiene interés tanto en asegurar la

Campos con soja en Ramallo, Buenos Aires.



provisión de combustible para su crecimiento económico como de contribuir a la conservación de los recursos naturales y mejora del medio ambiente, como ha establecido a través de distintas leyes y decretos. Adicionalmente, tiene ventajas comparativas para el desarrollo de fuentes alternativas de energía, en particular provenientes de productos agrícolas, como el biodiesel y el bioetanol. Su industria oleaginosa es altamente eficiente y su mercado de biocombustibles tiene una dimensión significativa (Scheinkerman de Obschatko y Begenisic 2006).

En los años '70 comienza a expandirse el sistema de producción de siembra directa que tiene como visión la gestión del ambiente con el fin de hacer agricultura y producir alimentos minimizando los impactos negativos y mejorando aquellos aspectos que permita la tecnología. Con el tiempo este nuevo paradigma comenzó a tomar forma y en 1989 se creó la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (Aapresid) en torno a las ideas y conceptos de un conjunto de Buenas Prácticas Agrícolas como rotación de cultivos, ajuste de diversidad e intensidad, uso adecuado de agroquímicos, nutrición vegetal y reposición de nutrientes al suelo, incorporación de tecnología digital y agricultura de precisión, e incorporación de cultivos de cobertura para maximizar la biología de suelo (Peiretti 2011).

Con la introducción de la soja (*Glycine max*) resistente a glifosato en Argentina en 1996 y su fuerte adaptación a los suelos sin laboreo como la siembra directa, se comenzó a cultivar soja a una tasa sin precedentes. En la actualidad este cultivo representa más del 60% de la superficie cultivada y es el principalmente utilizado para la producción de biodiesel, convirtiendo a la Argentina en el cuarto país productor y el primer exportador a nivel mundial (Bragachini *et al.* 2011).

Debido a la alta rentabilidad de la soja y gracias a las tecnologías que se han ido desarrollando a su alrededor, este cultivo se ha ido extendiendo a zonas en las que jamás se hubiera pensado posible la agricultura. En muchas zonas, la expansión de la soja se está dando a expensas de la destrucción de ecosistemas nativos, como los bosques y humedales. Numerosos son los casos de humedales que han sido drenados en su totalidad para permitir la introducción de soja, y muchos más aquellos en los que estos ecosistemas se han visto degradados por la contaminación de agroquímicos.

Los objetivos de esta publicación son proporcionar información actualizada sobre la producción de biocombustible a partir del cultivo de soja en Argentina y discutir los impactos actuales de dicha producción sobre los ecosistemas de humedales, su integridad ecológica y los bienes y servicios asociados.

Laguna de Chascomús, Buenos Aires.



Claudio Baigún

Biocombustibles en Argentina

Marco jurídico y normativo nacional e internacional

Legislación ambiental

Con la Conferencia de Estocolmo (1972) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1992), comenzaron a emerger en la Argentina distintos problemas ambientales. El Artículo 41 de la Constitución Nacional establece el derecho de toda persona a disfrutar de un ambiente sano y la responsabilidad de preservarlo. Al mismo tiempo se establece la responsabilidad de la Nación para determinar los estándares mínimos de protección del medio ambiente y la responsabilidad de las provincias para cumplir y hacer cumplir esas normas. En 1993, la Argentina se unió a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático mediante la Ley N° 24.295. Luego, en 2001, adoptando el Protocolo de Kyoto con la Ley N° 25.438.

En virtud de estas normas mínimas, la primera ley que se promulgó en Argentina fue la Ley N° 25.675: Ley General del Ambiente. Desde la creación de esta ley hay otras normas específicas de protección del medio ambiente, tales como:

- Ley Nacional N° 26.331: Ley de Presupuestos Mínimos para la Protección Ambiental de los Bosques Nativos, que establece las directrices básicas para el enriquecimiento, restauración, conservación, uso y manejo sostenible de los bosques nativos.
- Ley Nacional N° 25.688: Ley de Gestión Ambiental del Agua, que establece los estándares mínimos para la preservación del agua y su uso racional. Esta ley, en su Artículo 8, hace referencia a la protección de los humedales, al establecer que *“...la autoridad nacional podrá, a pedido de la autoridad jurisdiccional competente, declarar zona crítica de protección especial a determinadas cuencas acuíferas, áreas o masas de agua por sus características naturales o de interés ambiental.”*

En cuanto a los ecosistemas de humedales, la Argentina es parte contratante de la Convención sobre los Humedales o Convención de Ramsar (Ramsar, Irán, 1971), hecho que fue ratificado por la Ley Nacional N° 23.919 en 1991, promulgada mediante el Decreto 693. Enmiendas a la Convención fueron aprobadas por la Ley Nacional N° 25.335 en el año 2000. Al adherirse a la Convención de Ramsar, cada Parte Contratante está obligada por el Artículo 2.4 a designar al menos un

humedal para su inclusión en la Lista de Humedales de Importancia Internacional. En la actualidad, Argentina cuenta con 20 sitios Ramsar que protegen una superficie de 5.339.586 ha. Además de los Sitios Ramsar, los países que adhieren a la Convención de Ramsar deben elaborar y aplicar su planificación de forma que favorezca, en la medida de lo posible, el uso racional de los humedales en su territorio.

Entrevistas realizadas a los tomadores de decisiones de las universidades, organismos públicos y privados, consultores profesionales y agricultores, ponen de relieve que la existencia de leyes nacionales y la legislación provincial de protección del medio ambiente es suficiente, pero hay deficiencias en su aplicación, tales como la falta de actualización, falta de coordinación entre los organismos que aplican las leyes, las contradicciones de ciertas reglas, etc. La barrera más importante y significativa para un desarrollo sostenible está en la falta de aplicación, el respeto y el control del cumplimiento de las regulaciones. Las leyes y la regulación carecen de implementación tanto espacial (inequidad geográfica) como temporal (discontinuidad).

La sociedad en general no cumple con las leyes por diferentes razones que pueden ser económicas, cuestiones de Estado, educación o por presión social. Esto es muy negativo para la conservación de los recursos naturales ya que la misma depende, en parte, de un marco reglamentario adecuado para supervisar las decisiones tomadas en el sector privado.

Biocombustibles y soja

En el caso de los biocombustibles, en 2006 fue promulgada la Ley Nacional N° 26.093: Plan de Promoción de la Producción y el Uso Sostenible de los Biocombustibles. Esta ley tiene por objetivo promover la producción de biocombustibles para el mercado interno a través de subsidios para la comunidad agrícola. La normativa está dirigida a las economías regionales y promueve fuertemente el consumo de los biocombustibles por parte del sector agrícola. Esta ley establece que para 2010 la mezcla de biocombustibles con combustibles fósiles supone el 5% de biodiesel en el diesel y 5% de bioetanol en la gasolina. Esto también se expresa en el Artículo 13 del Decreto Reglamentario 109/07, identificándolos como B5 (combustibles con 5% de biodiesel) y E5 (combustibles con 5% de bioetanol). Este porcentaje puede aumentar en función de las variables del mercado, o disminuir en situaciones de escasez. El Artículo 10 del Decreto Reglamentario otorga la posibilidad a la Autoridad de Aplicación (Ministerio de Energía - Ministerio de Planificación



Donald Peck

Soja orgánica en Estancia Las Dos Hermanas, Córdoba.

Federal, Inversión Pública y Servicios) para avanzar en el uso obligatorio de biocombustibles, por debajo del 5%, si se considera que las condiciones son razonables. En el caso de aumentar el porcentaje de biocarburantes en mezclas habrá un anuncio con al menos 24 meses de anticipación.

En julio de 2010 se establece la Resolución 554/2010, donde se menciona un incremento de corte de biodiesel a los combustibles fósiles del 7%. El fundamento de este aumento reside principalmente en que las empresas elaboradoras de biodiesel poseen capacidad de producción y oferta de las cantidades de producto necesarias a los efectos de un aumento en el porcentaje actual de participación del mismo en la mezcla final con gasoil en el mercado interno. Haciendo frente de esta manera a las exigencias que plantea la diversificación de la matriz energética, el promisorio crecimiento a nivel nacional del sector agropecuario y la actividad económica en general¹.

En 2006 se crea la Asociación Internacional de Soja Responsable (RTRS por sus siglas en inglés), una iniciativa internacional que promueve el uso y el crecimiento de la producción responsable de soja, a través del compromiso de los principales actores de la cadena de valor del cultivo mediante un estándar global de producción responsable². Esta iniciativa tiene por

objetivo facilitar un diálogo global sobre la producción de soja económicamente viable, socialmente equitativa y ambientalmente apropiada. En 2011 se aprobó el estándar para la producción de soja responsable, el cual incluye requerimientos para conservar áreas con alto valor de conservación, promover las mejores prácticas de gestión, asegurar condiciones de trabajo justas y respetar los reclamos por la tenencia de tierras. En la actualidad se está trabajando en el desarrollo de las Interpretaciones Nacionales del estándar para los países clave como Argentina, Brasil, Paraguay, India y Bolivia.

Inversiones en la agricultura e impulsores del desarrollo de los biocombustibles

La expansión de la agricultura y el avance de la soja han impulsado un crecimiento significativo en varios sectores económicos vinculados directa e indirectamente a la producción y han traído una nueva dinámica a la economía local, regional y nacional en respuesta al crecimiento de la demanda internacional y los precios.

La industria del biodiesel en Argentina tuvo un constante crecimiento desde el año 2006, cuando aumentó 24 veces su capacidad instalada, pasando de 130.000 a 3.084.000 toneladas para fines del 2011 (Bragachini *et al.* 2011). En

¹ <http://www.argentinarenovables.org/leyes.php>

² <http://www.responsiblesoy.org/>

2007 la industria argentina de biodiesel surgió con un fuerte perfil exportador y en el 2009 ya se había posicionado como la primera exportadora mundial. A partir de 2010, cuando el gobierno instauró el corte obligatorio de gasoil con biodiesel (primero al 5%, y luego al 7%, en septiembre de ese año), las plantas también asumieron el desafío de abastecer esta nueva demanda interna sin perder el liderazgo exportador (ADIMRA 2012).

En la actualidad, hay más de 30 plantas elaboradoras de biodiesel, de escala mediana y grande, que concentraron inversiones por más de 900 millones de dólares en los últimos cinco años. Algunas de las más importantes están radicadas cerca de las terminales portuarias de Rosario, pero también hay plantas de distinto tamaño en pueblos y ciudades de todo el país, que así suman empleo y valor agregado a los granos (ADIMRA 2012).

La introducción de los biocombustibles como fuente de energía en la Argentina es una decisión trascendental por sus consecuencias ambientales (reducción de las emisiones de carbono), económicas (agotamiento de los combustibles fósiles en comparación con el crecimiento continuo del consumo, el potencial de la agricultura para ofrecer una proporción de la producción como fuente de energía, la generación de oportunidades de empleo y la diversificación de la agroindustria tanto en la Pampa Húmeda como para las economías regionales) y estratégicas (promoción de fuentes de energía renovables) (Poledo 2009).

Los mercados potenciales de exportación, tales como la Unión Europea (UE), ofrecen la posibilidad de incrementar el comercio y el desarrollo económico: en un solo año el biodiesel generó más de 200 millones de dólares en retenciones (CADER 2009). Otro objetivo de la política es aumentar la seguridad y la diversificación energética. Desde la crisis económica de 2001, la inversión en el sector petrolero se ha quedado atrás y, aumentando la demanda, para el año 2010 Argentina se convirtió en un importador neto de petróleo. Por lo tanto, el gobierno aspira a asegurar nuevas fuentes de energía (Lamers 2006, USDA 2010).

Otros factores importantes que impulsan la producción de biocombustibles son la presión del sector agrícola y las diferencias en los aranceles de exportación. Para promover productos de valor añadido, el gobierno ha reducido los impuestos a la exportación de dichos productos. En el caso del aceite de soja, es del 32%, en tanto que el biodiesel producido en la Argentina está sujeto al 14% de impuestos, lo que reduce el precio del aceite de soja local (CADER 2008). Mientras que la producción de biodiesel provoca un aumento en los costos de producción (alrededor del 10% para los grandes productores), la diferencia en las tarifas de exportación proporciona un incentivo para producir este combustible para el mercado externo. En la práctica, la diferencia de impuestos se financia por una caída en los ingresos de los agricultores, que reciben un precio más bajo por sus productos (Tomei y Upham 2009).

Historia del desarrollo de los biocombustibles en la Argentina

La historia de los biocombustibles en Argentina comienza en 1928, cuando se llevó a cabo la primera experiencia práctica, utilizándose una mezcla carburante llamada “combustible Giacosa” (15% de petróleo, 5% de metileno y 80% de alcohol) por ser su inventor Luis Giacosa, quien había patentado el invento el 3 de octubre de 1927. Años más tarde, en 1942, el Gobernador de Tucumán recorrió distintas provincias argentinas utilizando un vehículo accionado con un combustible que tenía el 30% de alcohol desnaturalizado y el 70% de nafta. Esto fue a modo de demostración de las experiencias que comenzaban a realizarse en el empleo de un sustituto para la nafta. Como la experiencia fue exitosa, el Departamento de Investigaciones y Desarrollo de YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales) comenzó a realizar ensayos sobre este tema. Recién en 1979, tras muchos años de investigación y ensayos, se inició en la provincia de Tucumán el “Plan Alconafta” que tenía por objeto promover la utilización del alcohol etílico (etanol) derivado de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como combustible. Desde esta fecha hasta principios de 1987, 12 provincias integraban el plan. La alconafta era económicamente viable ya que estaba subsidiada por el Estado, pero durante los años siguientes las zafras azucareras no fueron buenas y no se alcanzó a cubrir el consumo necesario de alcohol. Por otra parte, el precio internacional del azúcar recuperó su rentabilidad, haciendo que el “Plan Alconafta” fuera dejado de lado poco a poco, hasta desaparecer por completo. Han sido varios los intentos para promover el uso de biocombustibles en Argentina, pero la posibilidad de que a los mismos se les aplique un tratamiento impositivo similar al que recae sobre los combustibles derivados del petróleo representó una traba y desalentó cualquier inversión en el sector (Scheinkerman de Obschatko y Begenisic 2006).

Ante la aprobación de la Ley N° 26.093 sobre Biocombustibles, el agotamiento de las reservas de petróleo y la consecuente alza de los precios de ésta y otras energías no renovables, se recomienda en la Argentina al etanol como energía alternativa. La producción de etanol en el país proviene principalmente de destilerías de caña de azúcar concentradas en el noroeste. En 2010, el país produjo 114 millones de litros de etanol proveniente de seis destilerías. Hoy, los ingenios azucareros se comprometieron con el Gobierno Nacional a abastecer durante 2012 un 25% más de etanol que en 2011. Según la Resolución 5/2012 publicada en el Boletín Oficial³ que lleva la firma del secretario de Energía Daniel Cameron, 11 empresas –“nueve ingenios y dos destilerías de alcohol de maíz”– producirán 260 millones de litros de etanol, contra los 210 millones de litros que comprometieron para 2011. Esto implica un incremento del 23,8% en el total de biocombustibles producido para reemplazar a las naftas.

³ <http://www.eldial.com/nuevo/boletin/2012/BO120130.pdf>



Rubén D. Quintana

Campo de soja en la Ruta Nacional N° 9, Buenos Aires.

En cuanto a la producción de biodiesel, principalmente a partir de soja, hasta hace pocos años se venía realizando únicamente en pequeña escala. Algunas plantas ya funcionaban en los '90, pero entre todas alcanzaban niveles de producción muy bajos. Recién en el año 2004 comenzó a crecer la producción y tuvo un constante crecimiento desde el año 2006. Hoy en día, Argentina se ubica tercero en capacidad instalada a nivel mundial, siendo el cuarto productor mundial de biodiesel y el primer exportador mundial de este biocombustible en el año 2010 (Bragachini *et al.* 2011).

En el ámbito científico-tecnológico, diferentes instituciones de Argentina, como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), vienen desarrollando distintas investigaciones en torno a los biocombustibles, en especial ante las demandas de organismos federales como la Secretaría de Energía (SE), la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MCTIP), así como gobiernos y reparticiones provinciales y municipales y del sector agropecuario en general. El INTA mantiene propuestas de cooperación con organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Global Environment Facility (GEF), la Organización de las

Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico, Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA-PROCISUR) y la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos de América (EPA), que se orientan a satisfacer las demandas del sector y de la sociedad⁴.

Dentro de las investigaciones que está llevando el INTA pueden mencionarse estudios de balances energéticos, ciclos de vida, eficiencia, aplicación de sistemas integrados de información geográfica (SIG) a nivel regional y nacional, valoración económica y energética de la producción de bioetanol y biodiesel, mejoramiento y evaluaciones de los cultivos como la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el maíz (*Zea mays*), el sorgo dulce (*Sorghum bicolor*), la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) y el pasto varilla (*Panicum virgatum*) para la producción de etanol y la alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus*), el cártamo (*Carthamus* sp.) y la jatrofa (*Jatropha curcas*) para la producción de biodiesel⁵. Estos estudios tratan de evaluar los sistemas agroindustriales que producen biocombustibles por ecorregión, sus balances de energía, el uso de sus productos y el tratamiento correcto de los residuos. Se establecen puntos de referencia para la sostenibilidad ambiental y la promoción de sistemas de producción que ilustran la gestión eficaz de los recursos naturales.

⁴ <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/bio.htm>

⁵ <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/bio.htm>

Debate nacional actual sobre los biocombustibles

Existen varias corrientes, algunas totalmente opuestas, sobre las ventajas y desventajas de los biocombustibles, lo que refleja la multitud de perspectivas. Por un lado, existe una tendencia general para apoyar el desarrollo de los biocombustibles, punto de vista actual de la política Argentina, que proporciona enormes incentivos para la mejora de la producción de biocombustibles. Por otro lado, existe una cantidad importante de informes que alertan sobre las expectativas excesivas y los efectos negativos del aumento incontrolado de la producción de biocombustibles sobre el medio ambiente y la salud humana. Sin embargo, estas opiniones, análisis y evaluaciones se publican principalmente en revistas científicas que no están disponibles al público en general.

Argentina tiene dos importantes periódicos de circulación nacional que tratan los temas relacionados con los biocombustibles, de modo que sus lectores están medianamente informados acerca de la importancia actual y futura de la necesidad de utilizar estos productos. El nivel de conocimiento de estos lectores puede ser considerado bueno, pero hay que destacar que, debido a la extensión del país, el nivel de educación y el comportamiento de la sociedad, otros

medios de comunicación disponibles son también importantes para la difusión de la información. El tema se trata en artículos periodísticos generales, en las secciones de economía, industria, suplementos del campo, editoriales, opiniones de invitados y las cartas de los lectores. Toda esta información ayuda a dar forma a la opinión pública.

Ambos periódicos han hecho de público conocimiento que por la Ley N° 26.093 en 2010 el consumo de combustible nacional debe incluir al menos un 5% de biocombustibles. Para ellos, esto se obtiene gracias a la capacidad existente para producir biocombustibles, la abundancia de la soja y la necesidad de cumplir con la ley.

Un punto interesante es que gran parte de la población, principalmente la de menores ingresos, utiliza la radio (AM y FM) y algunos canales locales de televisión como su fuente principal de información. Estas fuentes se ocupan de las cuestiones relacionadas con las necesidades de desarrollo, producción y usos de los biocombustibles, pero también abarcan el tema del cambio climático y el papel que el desarrollo de biocombustibles va a jugar en él.

En síntesis, la información sobre los biocombustibles es suficiente, dispar, se vincula con otros temas (cambio climático) y produce oportunidades para el uso local o regional de las energías alternativas.

CAPÍTULO 3

El cultivo de soja

Historia del cultivo de soja en la Argentina

La primera siembra de soja en Argentina se hizo en 1862, pero no fue repetida por los productores durante ese período. En 1925 el Ministro de Agricultura introdujo soja desde Europa, conocida en ese momento como arveja peluda o “soja hispida”, y promovió su adopción. Hasta 1956, los aspectos básicos de la soja como cultivo aún no se conocían. A partir de la década del '70 la soja comenzó a difundirse en Argentina, principalmente en la región Pampeana. El 6 de agosto de 1971, en la Escuela de Agricultura de Casilda en la provincia de Santa Fe, la Agencia de Extensión Rural INTA Casilda organizó la primera reunión de difusión de soja donde algunos productores comentaron sus experiencias a sus pares. Concurrieron 120 chacareros de la zona y aquí nace la segunda revolución en la pampa; la primera había sido el trigo (*Triticum aestivum*) a partir de 1860. En 1977 se siembran 770.000 ha; en 1978, 1.750.000 ha. Durante un siglo nada semejante había ocurrido en la pampa. En 1992 el área de siembra de soja supera a la de trigo, siendo que este cereal fue el cultivo “civilizador” de la pampa. Este cambio no sólo marca una diferencia cuantitativa sino que modifica definitivamente a la región Pampeana norte ya que para sembrar soja se necesita más inversión y conocimientos que para sembrar trigo. Todas las empresas multinacionales de agroquímicos se establecen en Argentina, aprovechando la expansión sojera (Martínez 2010 y com. pers. 2012). El continuo crecimiento de este cultivo fue acrecentado en 1996/97, cuando se introdujo en el país la soja genéticamente modificada (RR-soja) resistente al glifosato, que se vio facilitada por la adopción generalizada de la siembra directa (Figura 1).

El crecimiento fue beneficiado por los mayores costos de producción de cultivos alternativos como el maíz y el girasol (*Helianthus annuus*) y por contratos de corta duración durante un año para la soja. Hasta mediados de los '90, la soja era utilizada para ser cultivada principalmente en los patrones de rotación de cultivos con trigo y maíz. Estas rotaciones aún se practican, principalmente por los agricultores que pueden permitirse cierta maquinaria agrícola. Actualmente, la superficie sembrada con soja alcanzó las 18.885.000 ha, lo que representa el 61% del área sembrada en Argentina¹.

En general, un aumento en la producción de cultivos se puede producir por la variación de dos factores: una mejora en los rendimientos del cultivo o un aumento en la superficie cultivada. El aumento de rendimiento de los cultivos, que aún no alcanzó su punto máximo, ha llegado gracias a la adopción de nuevas tecnologías por



Porotos de soja listos para su comercialización.

RTRS

el sector agrícola, principalmente en los últimos años. El aumento de la superficie cultivada ha sido a expensas de la sustitución de los ecosistemas naturales como los bosques nativos (Gasparri y Grau 2006) y/o por el desplazamiento de otras actividades como la ganadería de cría, invernada y lechera u otros cultivos. Por ejemplo, existe una relación clara entre la situación actual del Delta del Paraná y el paisaje agrícola circundante. La ganadería a gran escala y los cambios en los usos del suelo dentro de dicha región son una consecuencia directa de la expansión masiva de cultivos de soja. Este cultivo fue el principal impulsor del traslado de animales domésticos (alrededor de 1.500.000 vacunos) de la pampa al borde del Delta del Paraná y sus islas. Este escenario incluye la construcción de terraplenes, la fumigación con agroquímicos y el uso de los fuegos intencionales (207.000 ha de vegetación autóctona fueron destruidas por incendios en abril de 2008), que amenazan seriamente a los humedales y los suelos orgánicos (Blanco y Méndez 2010).

Área actual y tendencias para la producción de biocombustible a partir de soja

De acuerdo a consultas a especialistas (Agustín Mascotena, Director Ejecutivo, RTRS), en la actualidad aproximadamente 6 a 8 millones de toneladas de soja se usan para biodiesel, aproximadamente el 14% de la producción total del país.

¹ <http://www.siiia.gov.ar/>

Los escenarios futuros representan a la Argentina como principal productor de soja y de biocombustibles. Las tecnologías disponibles y las políticas a mediano plazo dan confianza a los productores de que pueden llevar fácilmente la producción a más de 130 millones de toneladas de cereales y oleaginosas al año. La soja ocupa, y lo seguirá haciendo, el primer lugar en área y en resultados económicos, lo que puede aumentar significativamente cuando la producción está destinada al uso como biocombustibles. Este nuevo mercado traerá precios más altos, y con ello, otra expansión de la siembra y la producción de soja para exportación, biocombustibles y consumo interno.

El panorama global de biocombustibles en los próximos años dependerá de una serie de factores interrelacionados, entre ellos los precios del petróleo, la disponibilidad de materia prima barata, la continuidad de las políticas públicas que fomenten la industria, los cambios tecnológicos que podrían reducir el costo de la segunda generación de biocombustibles (algas y celulosa) y la competencia de los combustibles fósiles no convencionales (carbón, gas y petróleo de esquisto bituminoso). Por el lado de la demanda, varios países están presionando para generar regulaciones para el período 2007-2013².

Descripción de las áreas usadas para el cultivo de soja

En la actualidad el cultivo de soja ocupa una amplia zona que se extiende desde el paralelo 23°S hasta el paralelo 39°S. Dentro de esta área se distinguen dos regiones (Figura 2) que difieren significativamente en relación al área implantada (Figura 3A) y producción de soja (Figura 3B), debido a las diferencias en las condiciones ambientales tales como la calidad del suelo y el clima.

La soja se cultiva en suelos con niveles moderados de materia orgánica (MO) y altos niveles de material fino como el limo y la arcilla, provenientes en su mayoría de depósitos de loess, con predominio de textura franco limosa en superficie.

Región primaria

La región principal está ubicada en la zona centro-este de Argentina, correspondiente a la región Pampeana, que comprende el sur de Santa Fe, centro-sur de Córdoba, noroeste de Buenos Aires y centro-oeste de Entre Ríos (Figura 2). Esta región se caracteriza por la producción agrícola y acompaña al desarrollo de la producción de soja a gran escala (Figura 4).

La región primaria representa el 90% de la producción total del país (Figura 3A). Esta región, de alta intensidad de producción, coincide con una banda de

aproximadamente 200 kilómetros a lo largo de la orilla oeste del río Paraná, que se está expandiendo en la orilla oriental, hasta su confluencia con el Río de la Plata. La producción de soja en esta región se ha incrementado debido a la infraestructura existente o disponible, la proximidad a los puertos, las mejoras en los rendimientos mediante la aplicación de tecnología y/o el desplazamiento de otros cultivos, como el algodón (*Gossypium herbaceum*) en el norte de Santa Fe y Chaco, y el maíz y el girasol en el norte y al sudoeste de Buenos Aires.

En esta región la superficie cultivada con soja por partido varía predominantemente entre un 25% y 75% (Figura 2). Los partidos con mayores valores de superficie cultivada son en Buenos Aires: Leandro N. Alem (72,6%), Capitán Sarmiento (69,0%), General Arenales (67,3%) y Salto (65,6%); en Córdoba: Marcos Juárez (68,2%) y Río Segundo (59,8%); y en Santa Fe: Constitución (71,0%), Caseros (69,3%), Rosario (66,1%) y San Lorenzo (64,2%).

El clima predominante de esta zona es templado con una temperatura media de 17°C y una precipitación promedio anual de más de 900 mm, con variaciones en subregiones por la incidencia de la proximidad del océano y las diferencias de topografía. Esta zona corresponde a una sub-región dentro de la región Pampeana denominada Pampa Ondulada. Presenta suaves y largas pendientes que le confieren a sus suelos cierta susceptibilidad a la erosión hídrica. El 42% de los suelos tienen aptitud agrícola y la zona presenta una importante división de la tierra con predominio de establecimientos pequeños y medianos (entre 50 y 300 ha) y un importante desarrollo de infraestructura. La agricultura es la actividad predominante, debido en parte a la presencia de "contratistas" transitorios con la maquinaria para sembrar y cosechar áreas de mediano a gran tamaño.

Región secundaria

La importante adaptación del cultivo de soja a una variedad de condiciones ambientales y la poca exigencia para el cultivo (no necesita suelos muy ricos en nutrientes, se desarrolla en suelos neutros o ligeramente ácidos, no requiere mucha agua, es resistente a la salinidad), ha permitido que se desplace fuera de la zona núcleo hacia zonas extra-pampeanas menos productivas (provincias de Chaco, Santiago del Estero, Salta, Jujuy, y Formosa, Figura 2). Así, la región secundaria se extiende desde las provincias de Chaco, Salta y Tucumán en el norte, a San Luis, norte de La Pampa y centro-sur de la provincia de Buenos Aires.

La expansión de la soja en el norte de la Argentina se ha debido principalmente a la conversión de bosque nativo (Figura 5) y al desplazamiento de la producción extensiva del ganado doméstico. De esta manera, la matriz de la agricultura cada vez tiene mayor

² <http://www.ers.usda.gov/AmberWaves/November07/Features/Biofuels.htm>



RTRS

Cosecha de soja.

predominancia sobre los remanentes de bosque que difieren en su grado de perturbación humana y la sucesión vegetal (Bertonati y Corcuera 2000). Esta zona corresponde a una llanura con poco relieve, salvo una pendiente débil de noroeste a sureste, indicada por la dirección de los ríos paralelos que fluyen a través del territorio. Los tres ríos principales que atraviesan la región (Pilcomayo, Bermejo y Salado) reciben el agua de los tributarios de 600 kilómetros con origen en los Andes, dejando a gran parte de sus aguas en los humedales; no son navegables, excepto el Bermejo en su tramo final, aguas abajo.

En la parte norte de la región secundaria se distinguen dos áreas respecto a la estación de lluvias: la oriental, con precipitaciones durante todo el año, aunque mayores en verano, del orden de los 1.000 mm anuales, y la occidental, con un período seco invernal hasta de ocho meses. En concordancia con esta distribución de las lluvias varía la vegetación: la selva enmarañada por lianas y epífitas, rica en especies con ejemplares de gran valor económico, como el quebracho (*Schinopsis* spp.), cedro (*Cedrela odorata*) o lapacho (*Tabebuia* spp.) predomina en el noreste, sobre suelos areno-arcillosos, interrumpida por numerosos claros donde aparecen suelos salinos o anegadizos. Donde se ha talado la selva, se reconstituyen sólo las palmeras como pindó (*Syagrus romanzoffiana*) y yatay (*Butia yatay*), cuyas formaciones están vinculadas a la práctica de la ganadería. Hacia el oeste se desarrolla el bosque chaqueño interrumpido por extensas abras o campos, cubiertos de gramíneas y vegetación espinosa (vinal). A medida que el bosque se empobrece por falta de agua,

aumenta la presencia de cactáceas que forman matorrales impenetrables en los espacios libres de árboles. La especie predominante es el quebracho y su explotación ha originado la destrucción del monte natural, que no se repone, permitiendo el avance de la desertificación allí donde las condiciones ambientales no son propicias para la práctica de la agricultura. La población está representada, en parte, por grupos indígenas y los principales centros urbanos se encuentran en las tierras altas o albardones en las costas de los ríos Paraguay y Paraná y en la diagonal fluvial de Santiago del Estero, destacándose Resistencia, capital de la provincia del Chaco, con su salida natural sobre el Paraná, el puerto de Barranqueras³.

En áreas como la Pampa Deprimida, zona central de la provincia de Buenos Aires, el cultivo de soja es más reciente y ha reemplazado a la actividad ganadera durante los períodos de sequía, con la consecuente pérdida de los campos de pastoreo, caracterizados principalmente por pastizales semi-naturales.

Si bien en la zona secundaria la superficie cultivada en general no supera el 25% del territorio, algunos partidos muestran valores superiores. A modo de ejemplo se pueden mencionar las localidades de Chacabuco (48,5%; Chaco), General Belgrano (39,7%; Chaco), Cruz Alta (34,8%; Tucumán), La Cocha (34,3%; Tucumán), Necochea (34,0%; Buenos Aires), Tandil (33,3%; Buenos Aires), Burruyacú (30,2%; Tucumán), Belgrano (29,9%; Santiago del Estero), Salliqueló (29,7%; Buenos Aires), Uruguay (28,4%; Entre Ríos) y General Taboada (27,9%; Santiago del Estero).

³ http://www.todo-argentina.net/geografia/argentina/reg_chaco_e.htm.

Descripción del sistema de tenencia de la tierra en las áreas de producción de soja

Las economías a escala inherentes al nuevo sistema de producción de la soja, así como las muchas crisis económicas que han asolado al país, han llevado a la concentración de la propiedad de la tierra. En la década del '90 las políticas de Estado favorecieron a los grandes productores, definiendo a las fincas de menos de 200 ha como "antieconómicas". De 1992 a 2002 se estima que 60.000 pequeños productores dejaron la agricultura (Joensen *et al.* 2005). En el 2007 el 60% de la cosecha de soja fue producida por sólo el 4% de los agricultores. Además, el alto precio internacional de la soja y su rentabilidad ha llevado a un aumento en la agricultura de arrendatarios y terratenientes ausentes (Tomei y Upham 2009). Los agricultores que no quieren o no pueden tomar el riesgo de producción arriendan sus tierras a otras personas (vecinos, contratistas o fondos de inversión) que gestionan la producción de un año a otro. Como resultado, el valor de la tierra ha aumentado cinco veces en la última década (Monti 2008) y en 2007 alrededor del 60% de las fincas eran administradas por los inquilinos. El proceso ha conducido inevitablemente a una pérdida de los conocimientos tradicionales y culturales que será irreversible.

La concentración de empresas agropecuarias sigue y seguirá produciéndose por la necesidad de adaptarse a las políticas de corto plazo y las indefiniciones, donde los pequeños y medianos productores no están en condiciones económicas para reinvertir en tecnologías y modernizar sus empresas, por lo que optan por el alquiler o venta de sus propiedades. Entre 1969 y 1988 el proceso de concentración de predios presentó una tendencia anual negativa del orden de -1,35%, mientras del 1988 a 2002 se aceleró el proceso a -1,65%. Entre 1988 a 2002 las empresas agropecuarias se redujeron de 538.000 a 333.500 y se estima que con la *agriculturización* y la formación de grupos que alquilan campos (cooperativas, pools de siembras y fideicomisos) esta tendencia acelerada continuará.

Esta concentración en la tenencia de la tierra puede analizarse desde varias perspectivas, pero las principales son la productiva, la social y la económica. La concentración de predios en pocas empresas puede traer una mejoría económica y de producción, aunque las ganancias se concentran en pocas manos reduciendo las inversiones locales, ya que el proceso depende de las aportaciones de los principales centros comerciales en lugar de los pueblos locales. El manejo y la aplicación de tecnología moderna puede llevar tanto a una mayor producción como a una mayor conservación de recursos naturales en los casos en que la producción es planificada para el largo plazo o en los casos de renta anuales o por períodos de muy corto plazo; o bien, en el otro extremo, para cultivos donde se maximiza la producción y la renta y se minimizan o ignoran la conservación de los ambientes y los aspectos sociales. Entre estos extremos se extiende una inmensa gama intermedia de situaciones que la legislación o la falta de aplicación de la misma, permite.

Descripción de los sistemas de cultivo

Técnicas de producción

La preparación del suelo para el cultivo de soja evolucionó en las últimas décadas desde un sistema tradicional de remoción del suelo a la siembra directa o labranza cero. Tanto la siembra de primera como la de segunda después de trigo se realizan en más del 80% de los casos con siembra directa e inoculación de las semillas con bacterias fijadoras de nitrógeno (Pognante *et al.* 2011).

La época de siembra depende de la zona, del cultivo antecesor y de la oferta de cultivares, realizándose entre agosto y febrero. La densidad de siembra, en líneas a 45-60 cm, oscila entre las 45-50 plantas por metro cuadrado (450.000-500.000 plantas/ha) y varía según el tipo de suelo, el clima, la variedad a emplear, si el cultivo es en secano o en regadío (García *et al.* 2009).

Debido a la adopción masiva de la siembra directa, el control de las malezas se realiza mediante tratamiento químico y la adopción casi total de variedades resistentes al glifosato ha determinado que éste sea el herbicida más utilizado. Sin embargo, se disponen de alternativas de productos para distintas condiciones (tipo y cantidad de malezas) que pueden complementar la acción del glifosato (García *et al.* 2009).

La fertilización del cultivo de soja es importante para obtener mejores rendimientos agrícolas. El principal fertilizante utilizado en la producción de soja es el superfosfato simple. Este fertilizante también se denomina arrancador porque se aplica con la siembra de la semilla. El mismo aporta los requerimientos del cultivo en fósforo, azufre y calcio. Las cantidades de aplicación del mismo oscilan entre 50 y 100 kg/ha, pero éstas varían dependiendo del tipo de suelo y el cultivo anterior (García *et al.* 2009). Por ejemplo, en la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires casi no se fertiliza con nitrógeno, sólo se inocula, y se aplican aproximadamente unos 80 kg de fosfato diamónico o superfosfato triple que equivalen a unos 16 kg de fósforo. En caso de que se use fosfato diamónico, se aporta un poco de nitrógeno (aprox. 13 kg/ha).

La soja es bastante resistente a la sequía, particularmente comparada con otros cultivos de la pampa. Necesita humedad pero sin encharcamientos, ya que éstos asfixian las raíces de la planta. Por esta razón los riegos no deben ser copiosos y se deberá mantener una ligera humedad en el terreno. Debido a las condiciones edafológicas y climáticas, la necesidad de riego de la soja en la región primaria es insignificante.

Después del algodón, cuyo cultivo se realiza principalmente en el norte, la soja es el cultivo que sufre los mayores ataques de plagas animales, principalmente insectos. Esta situación la ubica como el cultivo que requiere más insecticidas para su protección. La soja es atacada por una gran diversidad de especies de orugas

defoliadoras (Lepidoptera: Noctuidae) durante el período vegetativo, mientras que durante la etapa de fructificación se incrementan las poblaciones de chinches (Hemiptera: Pentatomidae), insectos que representan una seria amenaza al cultivo por su gran efecto sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. Debido a la siembra temprana de cultivares precoces, también es atacada por moluscos (babosas y caracoles) y crustáceos (bicho bolita), y otras plagas como las orugas cortadoras, las cuales pueden provocar severos daños al cultivo en etapa de implantación. Durante la campaña 2001/02 se incrementaron los ataques por chinche verde (*Nezara viridula* L.) y chinche de la alfalfa (*Piezodorus guildinii* West.), que, en algunos casos, llevaron a la pérdida total de los lotes afectados, mientras que en muchos otros se registró alto nivel de granos dañados y bajos rendimientos (Aragón 2002).

Los rendimientos de la soja dependen de la variedad usada, del suelo, del manejo del cultivo y del clima; su cultivo en ambientes de calidad y con buenos manejos genera producciones que superan los 4.500 kg/ha. Sin embargo, como ya se mencionó, varios factores pueden afectar negativamente los rendimientos. Las principales enfermedades que atacan al cultivo son las llamadas de fin de ciclo y la roya asiática. También existen otras enfermedades que atacan al tallo, raíz y las virósicas. Las principales estrategias para las enfermedades de fin de ciclo incluyen el uso de cultivares tolerantes, el tratamiento de las semillas, el uso de prácticas culturales (rotación de cultivos, fechas de siembra, fertilización) y la aplicación foliar de fungicidas. Para controlar la RAS las medidas de manejo incluyen siembra de ciclos cortos, eliminación de plantas guachas, monitoreo sistemático y control químico mediante el uso de fungicidas (García *et al.* 2009).

Cabe destacar el enorme avance en agricultura de precisión que se viene desarrollando en Argentina en los últimos años, cuyo objetivo es lograr un eficiente manejo de los factores que interactúan y que definen el rendimiento de un cultivo en diferentes ambientes dentro de un establecimiento (Bragachini 2010). El Proyecto Agricultura de Precisión del INTA trabaja de forma muy asociada con la actividad privada, proveedores de insumos, técnicos líderes en agricultura de precisión e instituciones como Aapresid, el Consorcio Regional de Experimentación Agrícola (CREA), el Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), orientando su esfuerzo a superar problemas concretos de los sistemas productivos actuales bajo el concepto de lograr aumentos en la productividad, mediante una mayor y mejor captura de datos, mejoras en las metodologías de análisis y diagnóstico, tendiendo en un mediano plazo al manejo sitio específico de cultivos y suelos (<http://cdi.mecon.gov.ar/biblio/docelec/dp3562.pdf>). La posibilidad del manejo de datos agronómicos georreferenciados que ofrece esta tecnología, está ya demostrando sus beneficios concretos. Los productores que manejan mapas de rendimiento, y que realizan un correcto diseño de ensayos de factores de manejo, cruzando la variabilidad natural e inducida en los grandes lotes, obtienen un manejo de insumos mucho más preciso y eficiente del que pueden lograr otros productores y técnicos que carecen de esa información (Bragachini 2010).



Aplicación de agroquímicos.

RTRS

Principales agroquímicos

Como fue mencionado, el cultivo de soja se lleva a cabo por medio de la siembra directa. Esta tecnología se asocia con la utilización del herbicida glifosato, además de los insecticidas cipermetrina y clorpirifos, dependiendo del manejo, rotación del cultivo y del tipo de plaga. A continuación se presentan algunas características de los principales agroquímicos utilizados en la producción de soja.

Glifosato

El glifosato es el principal herbicida utilizado para la producción de soja precisamente por su resistencia al mismo. Se trata de un herbicida sistemático que afecta la pos-emergencia, es no selectivo, de amplio espectro, usado para el control de gramíneas anuales y perennes, malezas de hoja ancha y especies leñosas. El glifosato es un ácido, pero comúnmente se usa en su forma de sal, conocida como sal isopropilamina de glifosato o sal isopropilamina de N-(fosfonometil) glicina (Nandula *et al.* 2005). El glifosato puro es un sólido cristalino con solubilidad en agua alta (12 g/L) (Franz *et al.* 1997) y baja presión de vapor ($5,7 \times 10^{-8}$ Pa a 25°C) (Battaglin *et al.* 2005). Desde la perspectiva de la salud humana, no hay evidencia de que el glifosato tenga efectos cancerígenos, es por eso que fue clasificado en la categoría D (EPA 1993).

El glifosato inhibe la biosíntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano), afectando varias enzimas que participan de dicho proceso, como la enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintasa (Franz *et al.* 1997), la clorismato mutasa y la hidratasa prefrenato. Todas estas enzimas son parte de la ruta del ácido químico presente en las plantas superiores y microorganismos, pero no en animales (Franz *et al.* 1997). En el suelo se ha reportado una vida media del glifosato de 32 días en bosques y cultivos pero varía considerablemente en función de la actividad microbiana, el pH del suelo y la temperatura (Giesy *et al.* 2000, Chang *et al.* 2011). En el ambiente, el glifosato es degradado a ácido aminometilfosfónico (AMPA). La

vida media del AMPA es desconocida pero se sabe que es más larga que la del glifosato, debido a que su acumulación ha sido detectada en suelos. Tanto el glifosato como el AMPA han sido detectados en aguas naturales cerca de áreas agrícolas (Chang *et al.* 2011).

El glifosato es muy soluble en agua, permaneciendo en estado iónico y adherido a partículas. Esto le confiere al glifosato alta estabilidad y capacidad de ser transportado y de esta forma queda retenido en ecosistemas acuáticos: en los estanques persiste de 12 a 60 días y tiene una vida media en sedimentos de hasta 120 días (IPCS 1994).

El glifosato, siendo soluble en agua, no atraviesa las membranas lipídicas celulares, por lo que requiere del uso suplementario de productos tensioactivos que actúan como soportes para penetrar en plantas y animales. Estos productos, como Polietilendiamina (POEA), tienen su propia toxicidad y exacerbaban el efecto de los herbicidas (Bradberry *et al.* 2004). No hay pruebas suficientes para concluir que las preparaciones de glifosato que contienen POEA son más tóxicas que las que contienen surfactantes alternativos. Aunque probablemente los tensioactivos contribuyen a la toxicidad aguda de las formulaciones de glifosato, el peso de la evidencia está en contra de tensioactivos potenciadores de la toxicidad de glifosato (Bradberry *et al.* 2004).

Cipermetrina

La cipermetrina es el principal insecticida aplicado a la soja. Si bien es un insecticida natural, este piretroide se ha modificado para que sea persistente en el ambiente y por lo tanto posee una actividad biológica mucho mayor que su forma natural. La evidencia sugiere que después de la aplicación a los cultivos, los residuos se pueden encontrar en suelos, aguas superficiales y sedimentos, pero se biodegrada de forma relativamente rápida por lo que sus residuos no permanecen en el ambiente durante un período prolongado. A pesar de la influencia de diversos factores, se considera que la vida media en el suelo bajo condiciones aeróbicas va desde cuatro días a ocho semanas y en el agua es mayor de 50 días (Maund *et al.* 2002).

La cipermetrina elimina coleópteros y lepidópteros y se puede aplicar por tierra o aire. Una práctica frecuente es aplicar cipermetrina y piretroides demasiado pronto e

innecesariamente al comienzo del ciclo de crecimiento ("chorro de piretroide"), acompañando la aplicación del glifosato. La creencia de que la persistencia en el sistema tiene un efecto protector ha ayudado a promover la adopción masiva de esta práctica, principalmente en el sur de Santa Fe, por lo que es habitual con el uso de glifosato durante el desarrollo de la soja y el tratamiento de los barbechos químicos antes de la siembra (Massaro 2010).

Clorpirifos

El clorpirifos es un compuesto organofosforado con actividad insecticida de amplio espectro contra una serie de importantes plagas de artrópodos. Varias formulaciones del clorpirifos se han desarrollado para maximizar su estabilidad y el contacto con las plagas y minimizar la exposición humana. Posee baja solubilidad en agua (<2 ppm) y gran tendencia a la partición acuosa en fases orgánicas en el medio ambiente (log P de 4,7 a 5,3). Se caracteriza por una media del suelo y coeficiente de adsorción de sedimentos (Koc) de 8.498 y el factor de bioconcentración acuática de 100-5.100 en los peces. Como resultado de su alta propensión a la adsorción, su movimiento a través y sobre el perfil del suelo es limitado y no ha demostrado ser un contaminante del agua subterránea. El escurrimiento superficial y la movilidad por erosión del clorpirifos son bajos, y en general, inferior a 0,3% de la aplicación. El clorpirifos es un compuesto degradable y a través de los procesos de transformación, tanto bióticos como abióticos, puede degradarse dentro de los diferentes compartimentos ambientales (Racke 1993).

Endosulfán

El endosulfán es un organoclorado que afecta a los insectos a través del contacto y la ingestión. Durante el 2011 fue prohibido en Argentina por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), en base a recomendaciones internacionales y nacionales que propenden la suspensión progresiva de su uso para el control de las plagas en los cultivos. El SENASA prohibió a partir del 1 de julio de 2012 la importación del principio activo endosulfán y de sus productos formulados, y la elaboración, formulación, comercialización y uso de los productos que contengan ese principio activo a partir del 1 de julio de 2013.

Impactos sobre los humedales

Ecosistemas de humedales en la Argentina

La estimación del área de humedales en la Argentina es de aproximadamente 600.000 km² (Kandus *et al.* 2008), lo que representa el 21,5% del territorio nacional, un área que aumenta al 23% si se consideran las salinas y los cuerpos de aguas. Grandes áreas de humedales se encuentran principalmente en la región húmeda del noreste del país, asociadas con la llanura Chaco-Pampeana (por ejemplo, Bajos Submeridionales y Pampa Deprimida) y los ríos de la Cuenca del Plata (Figura 6), mientras que el resto de los humedales del país se encuentran restringidos en su localización a los valles de los ríos, depresiones y al pie de las sierras o montañas (Kandus *et al.* 2008).

Entre las seis principales regiones de humedales de la Argentina (Canevari *et al.* 1999; Figura 6), la Cuenca del Plata y la región del Chaco, en el noreste del país, tienen una abundancia notable de humedales asociados

principalmente con las cuencas de los ríos Paraguay, Pilcomayo, Bermejo, Paraná y Uruguay. La región Pampeana se caracteriza también por una gran variedad de agua dulce, pantanos y lagunas abiertas, así como por las marismas asociadas a los ecosistemas estuarinos particulares a lo largo de la costa atlántica. Por otro lado, la Patagonia y los Andes son regiones áridas, donde los humedales son más escasos y restringidos en su distribución (Figura 6), y por lo tanto juegan un papel importante en el suministro de agua y forraje para el ganado y hábitat para la biodiversidad.

Como se describió previamente, la distribución del cultivo de soja en Argentina abarca principalmente el sector centro-este del país al norte de la Patagonia (Figura 2), superponiéndose a la región con mayor concentración y superficie de humedales del país (Figura 6), en particular las regiones de humedales de pampas y Chaco, en menor medida a la Cuenca del Plata y en forma muy marginal al norte de la Patagonia.

Laguna costera, San Cayetano, Buenos Aires.



Región primaria

La región primaria de cultivo de soja (núcleo sojero) (Figura 2) comprende varias lagunas y sistemas de humedales asociados a restricciones edáficas, tales como inundaciones y drenaje limitado (Kandus *et al.* 2008) (Figura 6), incluyendo 10 sitios de humedales de importancia para la conservación según Scott y Carbonell (1986), entre los cuales destacamos Laguna Mar Chiquita, Laguna Ludueña, Lagunas de Etruria y Bañados de Río Saladillo en la provincia de Córdoba, y Laguna Melincué en la provincia de Santa Fe (Figura 6). En el norte de Buenos Aires también encontramos algunas lagunas y sistemas de humedales de importancia, donde se destacan el Complejo lagunar Las Tunas-El Hinojo y los humedales del partido de 9 de Julio (Gómez y Toresani 1999).

En esta región también encontramos dos Sitios Ramsar¹:

1) Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita, en la provincia de Córdoba y 2) Humedal Laguna Melincué, en la provincia de Santa Fe (Figura 6).

1) Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita

(Córdoba) es considerado uno de los humedales más importantes de la Argentina y la ecorregión del Chaco debido a su riqueza en biodiversidad, que incluye un mínimo de 30 especies de aves acuáticas y 27 especies de peces que se crían en la zona. El uso del suelo predominante en el norte y el oeste de la zona es la ganadería extensiva, mientras que hacia el oeste, donde las características del suelo son menos restrictivas, hay incursiones de los bosques del este del Chaco y se practica la explotación forestal y la producción de carbón. Hacia los límites del sur y este el uso del suelo es mixto: agricultura (soja, trigo, maíz, girasol, etc.), ganadería (ganado vacuno) y tambo. Además, hay zonas urbanas y establecimientos agroindustriales.

Sitio Ramsar Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita.



Jorgelina Oddi



Marcelo Romano

Sitio Ramsar Laguna Melincué, Santa Fe.

- 2) **Humedal Laguna Melincué** (Santa Fe) y su cuenca representan uno de los sistemas lénticos de mayor importancia de la provincia de Santa Fe. Inmersa en una región eminentemente agrícola-ganadera, constituye un humedal de relevancia a nivel regional y continental, ya que es un ambiente de notable importancia para especies residentes y migratorias. El sistema en su conjunto conforma una cuenca endorreica prácticamente rectangular de unos 50 km de ancho en la cual el área ocupada por el espejo de agua tiene una superficie superior a los 120 km², e hidrográficamente constituye el receptor final de las aguas de esteros, pantanos y numerosas áreas que se inundan temporalmente en la cuenca, no existiendo efluentes relacionados con ella. Los ambientes terrestres, en los que proliferara el pastizal pampeano (flechillar: comunidad esteparia con dos estratos herbáceos, uno alto compuesto básicamente por *Stipa* spp., *Paspalum* spp. y *Panicum* spp., y uno bajo compuesto por numerosas dicotiledóneas), hoy han sido transformados casi en su totalidad a campos de cultivo y pastoreo en base a especies introducidas; en tanto que los ambientes acuáticos y los terrestres más directamente asociados a ellos, dadas las dificultades intrínsecas para su aprovechamiento económico "tradicional", son los que se encuentran en mejor estado de conservación. La agricultura se practica en terrenos más elevados alrededor de la laguna, principalmente trigo, soja, maíz y sorgo. Existe una tendencia en la región hacia una mayor industrialización de la agricultura, en general hacia monocultivos de soja. Sin embargo la producción está limitada por el gradiente altitudinal, que hace que las condiciones no sean las adecuadas para agricultura cerca de los cuerpos de agua, donde se realiza principalmente ganadería².

Región secundaria

La región secundaria de cultivo de soja (Figura 2) comprende numerosos sistemas de humedales de particular interés y valor para la conservación (Kandus *et al.* 2008; Figura 6). Entre estos podemos destacar a Bañados del Quirquincho (Salta), Bajos Submeridionales

¹ <http://www.ambiente.gov.ar>

² Ficha Ramsar Humedal Laguna Melincué: <http://www.ambiente.gov.ar>

(Santa Fe), Bañados de Figueroa (Santiago del Estero), Salinas Grandes (compartidas por Catamarca, Córdoba, La Rioja y Santiago del Estero), Sistema de Lagunas de Guanacache y del Rosario (compartido por Mendoza, San Juan y San Luis), Albufera Mar Chiquita, Sistema Lagunas Encadenadas del Oeste y Sistema de Chascomús (Buenos Aires) (Scott y Carbonell 1986, Bucher y Chani 1999, Gómez y Toresani 1999; Figura 6).

En esta zona también encontramos cuatro Sitios Ramsar³: 1) Bahía Samborombón, 2) Jaaukanigás, 3) Humedales Chaco y 4) Palmar Yatay, pero los mismos se localizan marginalmente a las áreas cultivadas con soja (Figura 6).

1) **Bahía Samborombón** (Buenos Aires) se extiende a lo largo de 180 km de costa, siendo el humedal mixohalino más extenso de Argentina. Es una zona intermareal extensa, caracterizada por bañados, pantanos salobres y cangrejales. La influencia de las mareas ocasiona un aporte de agua salobre y, por otra parte, los ríos, canales y arroyos aportan agua dulce; se crea así un complejo sistema hidrológico con gran variedad de humedales sujeto a pulsaciones según la interacción de los factores mencionados. Entre las razones más importantes para su designación como Sitio Ramsar figura su valor como hábitat de aves migratorias. Se estima que más de 100.000 chorlos y playeros (familias Charadriidae y Scolopacidae) hacen uso de la bahía. En lo que respecta a la fauna íctica, representa un área de desove de especies de importancia comercial relevante. Las limitaciones edáficas que caracterizan la región (salinidad e inundabilidad) determinan una muy baja aptitud agrícola, lo cual ha frenado el avance de la soja⁴.

2) **Jaaukanigás** (Santa Fe) abarca un sector de la planicie de inundación del río Paraná medio. Incluye entre otros un extenso complejo de ríos, lagunas,

madrejones, pastizales inundados estacionalmente, bosques ribereños e islas. El sitio se caracteriza por una notable biodiversidad acuática, con alrededor de 300 especies ictícolas que son la clave de la economía regional, dado que el 50% de la población del área vive de la pesca. Los suelos que bordean el Sitio son en su mayor parte bien drenados y de aptitud agrícola, abarcando más de 45.000 ha. En esta zona se cultiva soja, caña de azúcar, girasol, algodón y trigo⁵.

3) **Humedales del Chaco** (Chaco) es una franja alargada, de orientación general noreste-suroeste siguiendo el eje de los ríos Paraná-Paraguay. Incluida dentro de la región biogeográfica Chaco Húmedo o Chaco Oriental, incluye las planicies de inundación de los dos grandes ríos citados, más numerosos tributarios como el Bermejo, el Negro y el Salado. Por la red de afluentes locales fluye un activo intercambio de elementos flori-faunísticos relacionados con el pulso del agua, hilo conductor de los ecosistemas representados en la zona. Es refugio de micro y mesofauna asociada a ambientes acuáticos en períodos de grandes sequías. Dentro del sitio se realizan cultivos de soja a pequeña escala, no obstante en los alrededores del mismo existen aproximadamente 5.000 ha con cultivo intensivo de soja⁶.

4) **Palmar Yatay** (Entre Ríos) se localiza en el límite entre las ecorregiones Pampa y Espinal, por lo que cuenta con especies, comunidades y ambientes naturales correspondientes a ambas. Los principales tipos de humedales presentes son las selvas en galería a lo largo de las márgenes de ríos y arroyos, bajos inundables constituidos por depresiones que drenan el agua hacia ríos y arroyos, y lagunas temporarias en época de lluvias. Éstos se encuentran insertos en una matriz de cultivos y ambientes de bosque xerófito y palmar-pastizal⁷.



Daniel E. Blanco

Sitio Ramsar Bahía Samborombón, Buenos Aires.

Impactos sobre los humedales

Los impactos más directos y significativos de la expansión del cultivo de soja son la pérdida y la degradación de los ecosistemas naturales, con una notable tasa de deforestación en las provincias del norte de Argentina (Grau *et al.* 2005, Altieri y Pengue 2006). La pérdida de ecosistemas naturales en general ha provocado no sólo la pérdida directa de la biodiversidad, sino también la erosión del suelo y la salinización, el aumento de la capa freática y un mayor riesgo de inundación debido al aumento de la escorrentía (Jobbágy y Santoni 2006). Estos procesos pueden afectar no sólo a humedales de zonas cercanas sino incluso a algunos lejanos, incluyendo a los principales sistemas de humedales y Sitios Ramsar.

³ <http://www.ambiente.gov.ar>

^{4, 5, 6 y 7} Fichas Ramsar: <http://www.ambiente.gov.ar>

En el Sitio Ramsar Bahía Samborombón (Buenos Aires) desembocan los ríos Salado y Samborombón, así como numerosos canales que transportan agroquímicos y contaminantes que provienen de las zonas agrícolas tierra adentro y que estarían afectando la integridad ecológica del ecosistema⁸.

En muchas zonas la expansión agrícola ha ocurrido en detrimento de otros cultivos e incluso de la ganadería, lo cual ha llevado a una mayor homogeneización del paisaje y a la pérdida de numerosas especies silvestres que pueden ser exitosas o subsistir en mosaicos agrícolas o mixtos (Zaccagnini y Calamari 2001). Esta menor diversidad agrícola es un indicador de deterioro ambiental, donde no sólo se ven afectados negativamente la diversidad de especies y procesos ecológicos asociados a paisajes heterogéneos, sino también la diversidad de cultivos (Altieri 1999, Thrupp 2000, Weyland *et al.* 2008).

La contaminación por agroquímicos del suelo, del agua y de la biodiversidad es otro de los efectos negativos del monocultivo de soja. Una de las consecuencias directas de la agricultura a gran escala es la aplicación aérea de herbicidas que se traduce en el tratamiento de las márgenes de los campos y áreas semi-naturales del paisaje agrícola (CONICET 2009). Lamentablemente es bastante difícil cuantificar los efectos de productos químicos sobre los ecosistemas naturales; por un lado, los fondos para investigaciones de campo y laboratorio son insuficientes y por otro lado, gran parte de la investigación llevada a cabo ha sido en el corto plazo y no puede ser generalizada o extrapolada de forma fiable en el largo plazo. A continuación se destacan estudios

realizados principalmente en nuestro país en relación a los impactos del cultivo de soja sobre los ecosistemas de humedales y sus recursos.

Distribución y abundancia de humedales

En toda región primaria, y particularmente en el sureste de Córdoba, se ha dado un proceso de pérdida de humedales resultado del avance de la frontera agropecuaria, en particular del cultivo de soja (Quirós *et al.* 2005, Brandolin *et al.* 2012, F. Salvucci com. pers.).

El sureste de Córdoba se caracterizaba por la abundancia de lagunas, donde la actividad económica predominante era la ganadería para producción de leche. A partir del año 2000 comenzó un proceso de construcción de canalizaciones artificiales a gran escala, orientado a drenar los humedales (P. Brandolin com. pers.). El área canalizada en Córdoba sufrió la pérdida de un 12% de las lagunas originales, lo que supone una reducción del 14,7% de la zona inundada (Brandolin *et al.* 2012). Según este autor, la pérdida de humedales en el sector oeste del área de trabajo –donde se realizaron la mayoría de las canalizaciones– alcanzó al 42 % de la superficie original de humedales.

Un caso emblemático son los Bañados del Río Saladillo, uno de los sitios de mayor biodiversidad de la provincia de Córdoba, donde se perdió el 69% de la superficie de humedales y el 19,6% de las lagunas (Brandolin *et al.* 2012). Este proceso llevó a la pérdida de la conectividad original de los bañados y a la reducción de la riqueza y abundancia de especies. Entre los impactos indirectos se destaca la salinización de campos como resultado de la voladura de sal de las lagunas y el uso inadecuado de agroquímicos.

Desaparición de Laguna Larga

La Laguna Larga o Laguna de Cachicoya, en el Departamento de Río Segundo, provincia de Córdoba, era originalmente un espejo de agua de 110 ha. En el pasado esta laguna albergaba actividades de pesca, canotaje y otros deportes náuticos, así como una muy importante actividad social y recreativa. Hoy, como resultado de las canalizaciones llevadas a cabo para drenar tierras para agricultura, la laguna ha sido reducida a tan sólo tres canales, convirtiéndose en un paradigma de la erradicación de humedales en la provincia de Córdoba (F. Salvucci com. pers.).



Laguna Larga, Córdoba.

Fernando Salvucci

⁸ Ficha Ramsar Bahía Samborombón: <http://www.ambiente.gov.ar>

Los ecosistemas de humedales del sureste de la provincia de Buenos Aires, dentro de la región secundaria de cultivo de soja, también están siendo alterados (Booman *et al.* 2012). A través del uso de sensores remotos, los autores han podido cuantificar la pérdida de humedales por canalización y drenaje en una serie temporal de imágenes satelitales (1998-2006) correspondientes a la cuenca de Mar Chiquita, donde hubo un avance significativo de cultivos anuales, en especial de soja. Los autores mencionan que el grado de modificación de la cuenca es alarmante: casi 200 pequeños humedales (1.800m² de área total) han sido atravesados por canales con el objetivo de drenarlos y el 17% de los arroyos ya han sido canalizados.

La información disponible sobre los impactos del avance de la soja sobre los humedales de la región secundaria es escasa. En los Bajos Submeridionales (Santa Fe) la principal actividad económica local es la ganadería extensiva, desarrollada sobre la base del forraje que ofrecen sus pastizales naturales. Las características ambientales de los Bajos Submeridionales resultan una barrera a la expansión de la frontera agropecuaria y, si bien estos bajos no se encuentran enteramente en la región de producción primaria de soja, pueden sufrir consecuencias indirectas dadas por el cultivo de soja en otras áreas. Esto se explica porque a escala regional los bajos funcionan como un inmenso colector de agua de gran importancia en la dinámica del río Salado, en el cual vuelca las aguas que capta cuando las precipitaciones son muy abundantes. Sin embargo, prácticamente no existen estudios sobre los impactos generados por la actividad agrícola sobre el funcionamiento de este humedal (FVSA y FUNDAPAZ 2007).

En tiempos recientes el cultivo de soja también ha llegado de la mano de grandes endicamientos a regiones de humedales como el Delta del Paraná. En este sistema, los endicamientos que se construyen para generar artificialmente un ambiente terrestre donde sembrar soja tienen un impacto directo en la pérdida de las funciones hidrológicas y de los servicios ecosistémicos de estos humedales (Blanco y Méndez 2010).

Un impacto importante asociado a la pérdida y degradación de humedales es la emisión de GEI. Los biocombustibles han sido promovidos como una alternativa prometedora para mitigar el cambio climático. La mayoría de los estudios realizados al momento han encontrado que la sustitución de combustible fósil por los biocombustibles reduce los GEI ya que el biocombustible secuestra el carbono a través del crecimiento de la materia prima (Searchinger *et al.* 2008). Sin embargo, muchos informes cuestionan si los biocombustibles reducen sustancialmente las emisiones de carbono (Koh y Ghazoul 2008) dada la falta de consenso en las estimaciones modeladas en la emisión de GEI a partir de diferentes biocombustibles (Gnansounou *et al.* 2009). La mayoría de los estudios no han podido demostrar la real emisión de carbono ya que los agricultores, respondiendo al aumento de los precios, convierten bosques, humedales y pastizales en

nuevas tierras de cultivo para alimentación, trasladando la producción de cultivos para bioenergía a otras tierras ya desmontadas (Searchinger *et al.* 2008). En el caso particular de la soja, su expansión ha contribuido a la deforestación por vías indirectas (desplazamiento de cultivos) y directas (siembra de soja en hábitats naturales). Ambos procesos resultan en la ampliación de la frontera agrícola (Catacora-Vargas *et al.* 2012).

De acuerdo a Panichelli *et al.* (2009), la provisión de tierra a través de la deforestación para el cultivo de soja es el factor más impactante del aporte del biodiesel al calentamiento global; con respecto a los humedales, no se encontraron estudios que analicen el balance de GEI por su conversión a tierras de cultivos en Argentina. Sin embargo, la conversión de los humedales implica el riesgo de la emisión de altos niveles de GEI a partir del carbono que almacenan⁹; Ramsar 2008). Por otro lado, es importante destacar que el corrimiento de la ganadería hacia tierras marginales por efecto del avance de la frontera agrícola (Ortega y Azcuy Ameghino 2009) trae aparejado serias consecuencias en el balance de GEI debido a la quema de pastizales que se realiza para mejorar la receptividad ganadera. Los incendios en condiciones de seca generan pérdida de carbono y nitrógeno de los suelos, dado que emiten grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera. En el caso de los pastizales de las islas del Delta de Paraná, se estimó que, dada la productividad de los juncales en estos sitios, volver a almacenar el dióxido de carbono emitido por los incendios de 2008 demoraría aproximadamente unos 11 años (Kandus *et al.* 2009).

Servicios ecosistémicos

La alteración de humedales, y eventualmente su pérdida, es usualmente acompañada por la pérdida de funciones ecosistémicas que proveen de beneficios tangibles e intangibles de relevancia para la sociedad (servicios ecosistémicos) (Ansink *et al.* 2008; Kandus *et al.* 2011). Algunos ejemplos de los servicios ecosistémicos que ofrecen los humedales son los siguientes: almacenaje de carbono orgánico en el suelo, moderación de las variaciones de la temperatura, fuente de vapor de agua para precipitaciones, reducción del impacto del oleaje de tormentas y de navegación, reducción de efecto de inundaciones y erosión hídrica por atenuación de la velocidad de los picos de creciente y almacenamiento de excedentes hídricos, retención y fijación de sedimentos y contaminantes, regulación de la salinidad del suelo o sustrato, oferta de agua dulce para consumo humano, oferta de agua y forraje para la ganadería bovina extensiva, hábitats fundamentales para el mantenimiento de poblaciones viables de interés comercial y de conservación, sustento diario de pobladores locales.

Existe un consenso amplio y creciente a nivel mundial en cuanto a que los humedales son ecosistemas de importancia crítica por los beneficios económicos, sociales y ambientales que brindan, a pesar de que sólo

⁹ <http://www.wetlands.org>

representan el 5% de la superficie terrestre. Costanza *et al.* (1997) estimaron que el valor total global de los servicios provistos por las áreas costeras y los humedales continentales asciende a 17,5 trillones de dólares por año, lo que corresponde al 52% del valor total de servicios provistos por el conjunto de todos los ecosistemas del planeta. A su vez, durante la VIII Conferencia de las Partes Contratantes de la Convención de Ramsar, llevada a cabo en Valencia en 2002, se reconoce que los humedales juegan un papel

importante en la sustentabilidad de las actividades agropecuarias al brindar protección ante inundaciones y tormentas, contribuir al mantenimiento de acuíferos necesarios para la irrigación, y al proveer hábitat de especies que conforman importantes recursos para las comunidades locales (Kandus *et al.* 2011).

Como ya se mencionó, entre los efectos indirectos del monocultivo de soja se encuentran aquellos vinculados al corrimiento de la ganadería hacia tierras marginales. En el caso del Delta del Paraná, la pérdida de cobertura

El avance de la soja en el Delta del Paraná

Los suelos de la región del Delta del Paraná se anegan con frecuencia y tienen mal drenaje por lo que su productividad es de baja a muy baja y se catalogan como no aptos para actividad agrícola y de uso casi exclusivo para pastoreo, forestación y conservación de la fauna silvestre (Gómez *et al.* 2006, Engler *et al.* 2008, Goveto *et al.* 2008). Dada esta limitante, la mayoría de los emprendimientos productivos necesitan de la construcción de terraplenes y endicamientos para evitar el ingreso del agua con las crecidas (Blanco y Méndez 2010). En un relevamiento realizado durante el año 2010, se registró la presencia de 875 km de terraplenes y 202 áreas endicadas en la región del Delta del Paraná, correspondientes al 11,6% de su superficie (Kandus y Minotti 2010). Según este estudio, el 59% de estos endicamientos están destinados a la forestación de sauces y álamos (núcleo forestal), mientras que el 14% corresponde a uso agro-ganadero, los cuales incluyen la producción de soja.

Desde el polémico endicamiento de 12.000 ha construido en forma ilegal frente a Villa Constitución (Santa Fe) en el año 2007, donde en la actualidad se realiza cultivo de trigo y soja (D. Rodríguez com. pers.), la tendencia ha sido el aumento de la superficie endicada en numerosas localidades del Delta del Paraná para uso agrícola y cultivo de soja, incluyendo la isla Barbé, frente a San Pedro (E. Sierra com. pers.), las islas Lechiguanas (E. Sierra com. pers.) y el sur del Delta entrerriano (R. Quintana com. pers.).

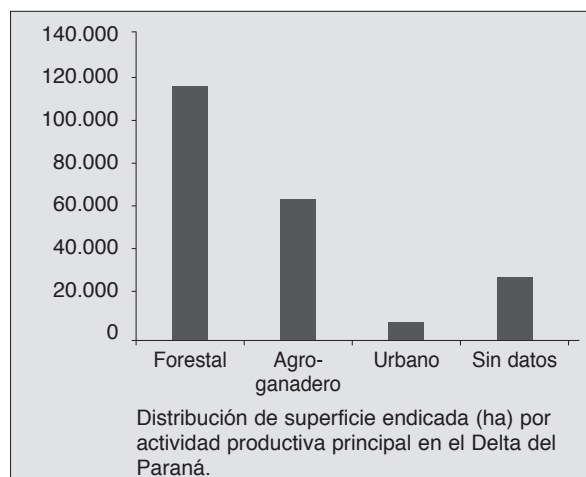
En términos generales, el cultivo de soja realizado a gran escala en el Delta acarrea la "pampeanización" de la región, la oclusión de arroyos y el uso de agroquímicos. Entre los impactos identificados (Blanco y Méndez 2010) podemos mencionar:

- cambio del régimen hidrológico del ecosistema como resultado de la construcción de endicamientos,
- eliminación de los bajos y pajonales del centro de las islas por drenaje de los terrenos para agricultura,
- reducción de la conectividad de los humedales, eliminando la posibilidad de los peces de utilizar los cuerpos de agua, afectando directamente la pesca,
- perjuicio al desplazamiento de los pobladores y sus medios de vida por la alteración de los cursos de agua,
- pérdida y reemplazo de la cobertura vegetal original, alterando drásticamente el ecosistema y conduciendo a la disminución directa o indirecta de la biodiversidad local,
- vulneración de actividades productivas tradicionales, como la pesca, la apicultura y la ganadería de islas, así como la recolección de especies vegetales nativas, impactando directamente sobre los modos de vida de la población local,
- contaminación del agua por agroquímicos, y
- mortandad de colmenas por agroquímicos, afectando directamente a la apicultura; e indirectamente pues la producción es casi totalmente de flora nativa silvestre, adaptada a la dinámica del humedal.



Rubén D. Quintana

Endicamiento para agricultura en el Delta del Paraná.



de los juncales y pirizales debido a las frecuentes quemadas que se realizan para mejorar la receptividad ganadera implica que, hasta su recuperación, se produzca una disminución de la rugosidad del sistema frente a las inundaciones. En consecuencia se pierde, al menos en forma temporaria, una de las principales funciones de impacto regional de los humedales, que es la regulación hidrológica a través de su capacidad de amortiguación de excedentes hídricos durante los eventos de inundaciones.

Salud del suelo

Se entiende por salud del suelo a la continua capacidad del suelo de funcionar como sistema vivo en natural equilibrio con el medio y con el uso de la tierra, que sostenga la productividad biológica, mantenga la calidad del aire y del agua del ecosistema al que pertenece y promueva la salud de las plantas, los animales y la población. El tema de la salud del suelo y la integridad de los ecosistemas no es nada nuevo, pero los nombres, el enfoque y sus estudios y evaluaciones se modificaron y perfeccionaron en el tiempo. Desde comienzos del siglo pasado se alertaba sobre las necesidades del cuidado de la MO, la integridad de los suelos, que estos no sean arrastrados por el agua ni “volados por los vientos”¹⁰. Con la *agriculturización*, principalmente en la región Pampeana, se intensificó el riesgo a la degradación de este recurso natural, causando hoy en día serios problemas de diferente naturaleza como pérdida de nutrientes, acidificación, erosión, compactación y contaminación (Culasso y De Carli 2001).

Un sistema de producción sin reposición de nutrientes que carece de mecanismos naturales para ello, se opone al concepto de sustentabilidad desarrollado en las últimas décadas, pues el mismo conduciría a un empobrecimiento creciente en estos elementos en el suelo, limitando progresivamente los rendimientos, hasta la situación extrema de impedir el desarrollo vegetal. Algunos antecedentes locales serían prueba de esta limitación regional para la alfalfa y la soja en particular (Vázquez 2005, Cruzate y Casas 2012). La extracción total de nutrientes de la campaña 2010/2011 para los cultivos más importantes de la región agrícola (soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz) en relación a la campaña 2006/07 se incrementó en un 11%. Esto fue debido al incremento en la producción, consecuencia de la mayor superficie sembrada y al mayor rendimiento de los cultivos (Cruzate y Casas 2012). Dentro de la provincia de Buenos Aires, las máximas tasas de extracción de nutrientes se dan en el área núcleo (norte de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba) y en el centro y norte de Córdoba. La soja es el cultivo de mayor extracción de nutrientes por tonelada de grano producida, expresado en nitrógeno, potasio, calcio y azufre, ocupando el segundo lugar en fósforo, ligeramente superado por el girasol (Cruzate y Casas 2009).

La escasa reposición de nutrientes (aproximadamente el 30% del total extraído en el caso particular de la soja) y

la elevada extracción de bases por los cultivos está aumentando la susceptibilidad de los suelos a la acidificación (Cruzate y Casas 2003). Con la intensificación de la agricultura se evaluó el cambio de pH en un Argiudol típico, Serie Rafaela, comparando los valores del horizonte superficial del suelo virgen (pH 6,7) con el similar bajo agricultura continua por más de 20 años (pH 5,6), donde se aprecia que esta acidificación sobrepasa el de una unidad (Panigatti 1976). Esta mayor acidez se corresponde con menores valores de calcio principalmente y de magnesio, no así de potasio que se ve incrementado y se lo atribuye al reciclado por los rastrojos.

La intensificación productiva sin las rotaciones adecuadas ha generado, especialmente en los últimos años, procesos de degradación de los suelos con disminución de su calidad (Figuras 7A y B). El cultivo de soja aporta poco rastrojo rico en nitrógeno, que se descompone rápidamente, dejando muy escasa cobertura sobre el suelo. Por esto mismo la incorporación de MO es muy baja y la estructura del suelo tiende a volverse inestable y a densificarse. El monocultivo de soja no puede contrarrestar esta densificación y además su sistema de raíces genera menor cantidad de bioporos y agregados que las raíces de las gramíneas, tales como el maíz, el sorgo y el trigo. Cuando se realizan varios años de monocultura sojera el suelo tiende a densificarse, a formar “pisos” o capas endurecidas que a su vez limitan el crecimiento de las raíces, y en algunos casos determinan el cambio de dirección de las mismas (Casas 2006).

En San Luis, la erosión hídrica ha sido estudiada en diversos ambientes y entre los factores determinantes están las modificaciones antrópicas que, en el centro-oeste de la provincia, se presentan en amplios sectores con piso de arado y capas compactadas. Con ello se aumenta la densidad, disminuye el número de macroporos, disminuye la infiltración y por la mayor escorrentía se magnifican los problemas de erosión. Casagrande *et al.* (2009) mencionan que ante pequeños cambios en el contenido de MO, varía significativamente la densidad aparente máxima y la susceptibilidad a la compactación. La densidad aparente máxima en un suelo virgen con 3,7% de MO alcanza 1,1g/cm³, mientras que un suelo similar pero con 2,1% de MO puede sobrepasar 1,4g/cm³, que significa una importante reducción de captación de agua, intercambio gaseoso, actividad biológica y, por sobre todo, incremento de erosión. El monocultivo de soja, con muy reducido aporte de rastrojos, puede ser un importante factor de degradación por lo mencionado.

La salinidad de los suelos es un atributo dinámico tanto en el espacio horizontal y vertical, como en el tiempo y esto es modificado por el manejo, las labranzas, cambios en la vegetación, cambios en los niveles de la capa de agua e irregularidad de las precipitaciones. En las denominadas “cañadas”, donde su posición baja o cóncava en el paisaje hace que la capa freática fluctúe cerca de la superficie, se presentan suelos salinos y/o

¹⁰ www.inta.gov.ar

alcalinos y vegetación natural adaptada a los grandes cambios de niveles hídricos como sequía e inundaciones. En Santa Fe y Córdoba se han presentado diversos períodos con excesos hídricos que dejan, una vez retiradas las aguas superficiales, suelos con la freática próxima a la superficie que por capilaridad aporta sales solubles al horizonte superficial. Algunas de estas sales son removidas por el viento, pueden ser transportadas en profundidad por lluvias o permanecer en un estado dinámico según la marcha del tiempo. La salinización se ve agravada por la ausencia de vegetación en lotes que se labran para cultivos, eliminando las praderas húmedas que toman parte del agua del suelo de diversos horizontes y de la capa de agua, reduciendo o eliminando el ascenso capilar y la salinización superficial (L.A. Cerana y J.L. Panigatti, com. pers.). La eliminación de la pradera, mantener el suelo desnudo o con muy baja cobertura, el aumento de la temperatura, la compactación por labranzas, el tránsito de maquinarias y el pisoteo animal potencian el ascenso capilar con la consiguiente salinización (Imbellone *et al.* 2010).

También existen efectos indirectos del avance de la frontera agrícola, liderado por el monocultivo de soja, sobre suelos marginales. Es el caso del corrimiento de la ganadería hacia regiones más vulnerables (Ortega y Azcuy Ameghino 2009) como las islas del Delta del Paraná, donde el pastizal es quemado para mejorar la receptividad ganadera. Estudios realizados en esta zona mostraron que el fuego afectó en forma significativa las capas superficiales de los suelos, caracterizadas por su elevado contenido de MO y por estar en contacto con gran cantidad de estructuras vegetales de escaso grado de descomposición. A su vez, los cambios en pH y conductividad eléctrica del suelo también se corresponden a las alteraciones producidas por incendios intensos, generando cambios importantes como la invasión potencial de especies exóticas. En estas condiciones, las capas superficiales del suelo quedan reducidas a cenizas y expuestas al riesgo de erosión por lluvias y crecientes fluviales o repuntes mareales (Kandus *et al.* 2009).

Como una interfaz importante entre otros aspectos ambientales, el suelo juega un papel preponderante

como buffer de los plaguicidas. Después de la aplicación, la mayoría llegan a la tierra ya sea inmediatamente después de la aplicación o después de lavado del follaje. Aparte de la volatilización, los principales procesos que controlan el destino de los plaguicidas en los suelos son la retención por las partículas del suelo y la degradación (biótica y abiótica). Estos procesos bio-físico-químicos acoplados pueden conducir a una acumulación transitoria o permanente de plaguicidas en suelos o, por el contrario, a su eliminación del medio ambiente. Ellos determinan la concentración de plaguicidas en la solución del suelo y tienen una gran influencia sobre la transferencia de los mismos hacia el suelo o las aguas superficiales y sobre los efectos ecotoxicológicos relacionados a organismos del suelo (Chaplain *et al.* 2011).

Como se mencionó, el herbicida principal utilizado en el cultivo de soja es el glifosato. En general se considera que es fuertemente adsorbido por las partículas del suelo y por lo tanto se considera casi inmóvil y poco susceptible de transportar. Sin embargo, los resultados experimentales sobre la movilidad y la lixiviación del glifosato se discuten en relación con las observaciones actuales y el conocimiento sobre el riesgo de lixiviación de sustancias altamente adsorbentes (Vereecken 2005).

No existe información suficiente sobre los efectos de los agroquímicos en relación a los aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo, atribuibles a las características de los productos químicos utilizados en la producción de soja. El alto contenido de material fino en suelos favorece la producción de soja por su alta capacidad de intercambio; además promueve la neutralización parcial o total de la mayoría de las moléculas y los iones aplicados a los cultivos. El cultivo repetido de soja conduce a una pérdida de la MO del suelo (aproximadamente 1% del total o > 20% relativa), la cobertura (> 60%), la actividad biológica, la estabilidad estructural (> 40%) y algunos nutrientes tales como el fósforo disponible (10-40%). La Tabla 1 resume los procesos estudiados y los principales resultados obtenidos en investigaciones realizadas en Argentina sobre el impacto de los agroquímicos empleados en soja sobre el suelo.

Soja sobre la Ruta Nacional N° 12, Entre Ríos.



Tabla 1.-		
Principales investigaciones en relación al impacto sobre el suelo de agroquímicos utilizados en el cultivo de soja realizadas en Argentina.		
Proceso estudiado	Principales resultados	Referencia bibliográfica
Mecanismos absorbentes de glifosato (adsorción y desorción)	El Argiudol típico y el Argiudol Ácuico mostraron moderada a alta de adsorción de glifosato, siendo la sal isopropilo de amonio más absorbida que la forma de ácido de glifosato. Los valores de desorción entre 51% y 69% fueron determinados para ambos productos por medio de ensayos en laboratorio.	Maitre <i>et al.</i> (2008)
Adsorción de glifosato	La mayor adsorción de glifosato sobre óxidos de hierro que sobre los suelos y arcilla, sugiere que la formación de complejos puede afectar la degradación y biodisponibilidad en suelos y aguas.	Pessagno <i>et al.</i> (2008)
Escorrimento superficial y pérdida de nutrientes y glifosato	En suelos cultivados o con baja cobertura, la escorrentía fue seis veces mayor que los registrados en los pastizales. La escorrentía no se relaciona con la cobertura de rastrojo de la cosecha, sino principalmente con el tiempo de un suelo destinado a cultivo. Los autores concluyeron que la mayor cobertura y el contenido de materia orgánica en los primeros 5 cm de suelo reducen las pérdidas de nutrientes y el riesgo de contaminación por glifosato.	Sasal <i>et al.</i> (2008)
Escorrentía	En los estudios de parcelas de escorrentía los autores encontraron poca pérdida de nitrógeno y bajos niveles de glifosato y AMPA en el agua de escorrentía, siendo menos del 0,03% de la cantidad aplicada a los cultivos. Sugieren que los picos de concentración de glifosato y AMPA después de las lluvias más importantes indican la necesidad de analizar las cuestiones relacionadas con el momento y las condiciones de uso de herbicidas.	Sasal <i>et al.</i> (2010)
Transporte de glifosato en el perfil de un suelo	En suelos arcillosos, bien estructurados, el glifosato se lixivia en concentraciones superiores al límite máximo de plaguicidas permitido por la UE para el agua potable. Los autores encontraron pérdidas promedio de 39 g/ha de glifosato para una aplicación de 8 l/ha, sugiriendo un riesgo potencial de contaminación del agua subterránea.	Costa <i>et al.</i> (2010)

En las extensas llanuras de la pampa argentina y sectores del Chaco, el material original predominante de los suelos es el loess. Este material, transportado por el viento, varía en composición desde más grueso a más fino a lo largo de un gradiente de sudoeste a noreste. Los suelos del este de Argentina tienen más arcilla y capacidad de absorber iones y moléculas complejas. De sur a norte hay un gradiente de aumento de la temperatura y hacia el sur los suelos tienen mayor contenido de MO, lo que significa que hacia el norte los suelos son más susceptibles a la degradación por un manejo no adecuado. En general las tierras del sureste tienen una mayor capacidad para inmovilizar los productos químicos (moléculas, metabolitos y adyuvantes), con la disminución de las capacidades hacia el oeste y noroeste. Un patrón similar es evidente en la pérdida de MO, estabilidad estructural y la degradación irreversible como es la erosión por viento.

Calidad y disponibilidad de agua

En las regiones con cultivos intensivos, los humedales se ven afectados directamente por la entrada de agroquímicos como los plaguicidas e indirectamente porque a menudo los nutrientes entran en los humedales adheridos a partículas de suelo erosionado provenientes de tierras agrícolas. La escorrentía es una de las principales fuentes de contaminación no puntual por plaguicidas en los cursos de agua (Jergentz *et al.* 2005).

En la región principal de producción de soja se emplean prácticas de mínima labranza o siembra directa para

prevenir las pérdidas de suelo, dado que la Pampa Ondulada se caracteriza por daños severos en los suelos a causa de la erosión hídrica. Durante el período de aplicación de los plaguicidas, de noviembre a marzo, las lluvias cortas pero intensas son muy comunes en la región y provocan escurrimientos superficiales intensos. Junto con el suelo suspendido, los plaguicidas son así transportados a sitios no “blanco” como los ecosistemas acuáticos (Jergentz *et al.* 2005).

En 2009, un grupo de investigadores del CONICET llevó a cabo una revisión exhaustiva sobre los impactos del glifosato, su metabolito (AMPA) y el surfactante (POEA)

sobre el ambiente, la salud humana y el ecosistema en general (CONICET 2009). En cuanto al destino del glifosato y sus metabolitos en el agua superficial, el informe concluye que el glifosato y sus sales son altamente solubles en agua, se unen fuerte y rápidamente a los sedimentos y partículas, en especial en aguas poco profundas y calmas o aquellas que transportan grandes cantidades de partículas que eliminan el glifosato de la columna de agua.

Sin embargo, en un trabajo realizado en arroyos del sistema Pergamino-Arrecifes (norte de Buenos Aires) en cercanías a aéreas de producción de soja, Peruzzo *et al.* (2008) encontraron glifosato en aguas superficiales luego de aplicaciones como consecuencia de la deriva y el escurrimiento superficial, particularmente luego de un evento de lluvia. Así, dependiendo de los sólidos suspendidos y de la actividad microbiana, el glifosato puede ser arrastrado varios kilómetros aguas abajo. Si la aplicación del glifosato se realiza correctamente no se espera que alcance las aguas subterráneas.

La degradación microbiana y la unión a los sedimentos son las dos vías principales para la disipación de los agroquímicos en el agua. El glifosato no se degrada fácilmente en agua estéril, pero en presencia de microflora (bacterias y hongos) se descompone a AMPA y finalmente a dióxido de carbono. Otras vías metabólicas han sido informadas, incluyendo la degradación posterior del AMPA a fosfato inorgánico y metilamina y luego a formaldehído, así como por la vía de sarcosina a glicina. Ninguno de estos productos son considerados herbicidas y se espera que no sean altamente tóxicos para los organismos acuáticos en concentraciones que pudieran surgir por el uso típico de glifosato. La fotodegradación también se produce en condiciones de campo, con suficiente penetración de luz ultravioleta (CONICET 2009).

Dos estudios canadienses citados por el CONICET encontraron que la persistencia de glifosato en agua puede ser de 12 a 60 días luego de aplicaciones directas. En Estados Unidos residuos de glifosato fueron

Tabla 2.-		
Principales investigaciones en relación al impacto sobre el agua de agroquímicos utilizados en el cultivo de soja realizadas en Argentina.		
Proceso estudiado	Principales resultados	Referencia bibliográfica
Detección de glifosato en cursos de agua del sistema Pergamino-Arrecifes	Las concentraciones de glifosato halladas fueron de 0,10 a 0,70 mg/l en agua y sedimentos de arroyos localizados cerca de cultivos de soja, con aumentos significativos en las concentraciones luego de eventos de lluvia. Las muestras de sedimentos mostraron un incremento en las concentraciones de glifosato cerca de áreas cultivadas luego de las aplicaciones.	Peruzzo <i>et al.</i> (2008)
Detección de pérdidas de glifosato por drenaje y escurrimiento en muestras de suelo de Pergamino (Buenos Aires) y Paraná (Entre Ríos)	El glifosato aplicado antes de la siembra fue detectado en el drenaje de agua. Los picos de concentraciones de glifosato en drenajes y escurrimiento de agua fueron registrados luego de eventos importantes de lluvia (~10 µg/l). Sin embargo, la cantidad de glifosato perdido durante el período de estudio fue entre 0,03 y 0,6% de las cantidades aplicadas.	Sasal <i>et al.</i> (2010)
Niveles de cipermetrina en cursos de agua del sistema Pergamino- Arrecifes	Se hallaron plaguicidas en los arroyos estudiados. Las concentraciones de cipermetrina tuvieron su pico más alto en relación a la aplicación y los eventos de lluvia, disminuyendo rápidamente hasta niveles no detectables en menos de una semana. La falta de efectos se corresponde con la capacidad amortiguadora de las aguas naturales, reduciendo la toxicidad de la cipermetrina en un orden de magnitud. La capacidad de protección estuvo principalmente asociada a los contenidos de materia orgánica.	Carrquiriborde <i>et al.</i> (2007)
Niveles de cipermetrina en ríos del sistema Pergamino- Arrecifes	La cipermetrina fue detectada en aguas y sedimentos. La presencia del plaguicida en las muestras fue explicada por los eventos de fumigación y lluvias luego de las aplicaciones.	Marino y Ronco (2005)
Niveles de endosulfán, cipermetrina y clorpirifos en cursos de agua tributarios del sistema Pergamino-Arrecifes	Estos insecticidas fueron detectados en sedimentos, como partículas suspendidas en el agua.	Jergentz <i>et al.</i> (2005)

encontrados en sedimentos de lagos al año siguiente de la aplicación directa. El AMPA es más persistente que el glifosato, entre 199 y 959 días.

Como fue mencionado anteriormente, el endosulfán fue prohibido en Argentina en 2011, siendo el segundo insecticida más usado en los cultivos de soja. Es un compuesto insoluble en agua que se degrada por fotólisis, hidrólisis y biodegradación. En agua su vida media es de 35 a 150 días y ha sido detectado en aguas subterráneas en concentraciones que rondan desde 0,008 a 0,053 ppm 20 días luego de la aplicación (Romeo y Quijano 2000).

Otro aspecto de la producción de soja que debe ser abordado es el riesgo de eutrofización de los humedales provocado por los fertilizantes inorgánicos. Un balance de masa de nitrógeno para la soja demuestra que el aumento de nitrógeno de la fijación biológica no compensa las pérdidas ocasionadas en la exportación de semillas, de manera que la mayoría de las áreas bajo cultivo de soja están experimentando una pérdida neta sustancial de nitrógeno. Además, otros cultivos que actualmente están siendo fertilizados aún muestran una pérdida neta de nitrógeno también a causa de las exportaciones primarias desde los agroecosistemas (Austin *et al.* 2006). Dado lo anterior, se espera que los cuerpos de agua en zonas de producción de soja se encuentren en riesgo de contaminación por nutrientes y su consecuente eutrofización. Sin embargo, los estudios de eutrofización debido a la producción de soja son escasos.

Vera *et al.* (2010) investigaron el efecto de la variedad Roundup Ready® (formulado de glifosato) sobre la colonización del perifiton en mesocosmos experimentales. Se agregó 8 mg/l del ingrediente activo. La estimación de la vida media del glifosato fue de 4.2 días. El fósforo total se incrementó significativamente por la degradación del Roundup Ready®, lo que favoreció el proceso de eutrofización. Debido a la mortalidad de las algas, principalmente diatomeas, las cianobacterias se vieron beneficiadas. Los autores concluyeron que el glifosato produce un cambio a largo plazo en la tipología de los mesocosmos, de "claro" pasando a "turbio", lo cual es consistente con la tendencia regional en lagos poco profundos en la llanura pampeana. El favorecer el desarrollo de cianobacterias –y con esto la presencia de cianotoxinas– puede traer una serie de problemas indirectos como olores desagradables, muerte de fauna autóctona, etc.

Cabe mencionar que entre las técnicas de aplicación del herbicida glifosato se encuentran las pulverizaciones aéreas. La contaminación del aire por equipos de aspersión aéreos o terrestres puede transportar los químicos a pueblos y ciudades. Más aún, los humedales y parches de vegetación nativa inmersos en una matriz agrícola son altamente vulnerables a las pulverizaciones. Diferentes medidas se pueden tomar para minimizar los riesgos de contaminación, como tener en consideración factores climáticos o el cumplimiento de las reglas (en caso de que existan) referentes a zonas de seguridad con prohibición de pulverización. Aún cuando se tomen en cuenta estas restricciones, una vez incorporados a la atmósfera los agrotóxicos pueden llegar a lugares remotos.

Los efectos de los agroquímicos utilizados en la producción de soja sobre la calidad del agua de los humedales en la Argentina han sido poco estudiados. Una de las principales razones es la falta de financiamiento para estudios de campo y la escasez de herramientas y técnicas necesarias para detectar los productos químicos en el agua. Sin embargo, la Tabla 2 destaca las principales conclusiones de investigaciones realizadas en las áreas con manejo intensivo de soja.

Fauna

Existen distintos grupos de organismos denominados "centinelas" por su capacidad de alertar sobre la presencia de tóxicos en el ambiente, ya sea porque desarrollan diversas enzimas de detoxificación o por cambios en el comportamiento. Existe un conjunto de evidencias, indicadoras del efecto de agroquímicos sobre organismos, a distintos niveles de organización biológica, principalmente acuáticos. En la Tabla 3 se resumen algunos de los efectos observados sobre este tipo de animales. Es importante mencionar que muchos organismos se reproducen en primavera-verano y, como en el caso de los anuros, su desarrollo larval se puede extender por períodos prolongados, superponiéndose con el período de aplicación de herbicidas.



Rubén D. Quintana

Nandú, especie clásica del pastizal pampeano que ha sido desplazada por la agricultura.

Carpinchos en los humedales del noreste de Argentina.



Rubén D. Quintana



Rubén D. Quintana

Garzas y cigüeñas.

Tabla 3.- Principales conclusiones de autores locales sobre los efectos de agroquímicos sobre organismos centinela.			
Grupo de organismos	Agroquímico estudiado	Efectos	Referencia bibliográfica
Anfibios	cipermetrina	Conductas aberrantes que afectarían a las cohortes larvales modificando los patrones de conducta gregarios que favorecen la búsqueda del alimento.	Lajmanovich y Peltzer (2004)
Anfibios	cipermetrina	Apoptosis de las células nerviosas de anfibios.	Izaguirre <i>et al.</i> (2000)
Peces	cipermetrina	No tiene efecto en la mortalidad o alteraciones en el comportamiento de las especies de peces residentes. No se encontraron cambios en los parámetros poblacionales (estructura de tallas, abundancia, supervivencia, etc.).	Carriquiriborde <i>et al.</i> (2007)
Peces	cipermetrina	La supervivencia de los peces (<i>Odontesthes bonariensis</i>) se redujo a altas temperaturas y concentraciones de cipermetrina y el crecimiento fue significativamente mayor por la exposición a cipermetrina, mientras que no se registraron cambios en las relaciones sexuales.	Carriquiriborde <i>et al.</i> (2009)
Crustáceos	cipermetrina, endosulfán, clorpirifos	Se observó 100% de mortalidad en <i>Hyaella curvispina</i> y <i>Macrobrachium borelli</i> , con picos de concentración de contaminación del insecticida clorpirifos (64 mg/kg).	Jergentz <i>et al.</i> (2004)
Peces	endosulfán	Disminución de la movilidad.	Ballesteros <i>et al.</i> (2009)
Anfibios	glifosato, cipermetrina, endosulfán, clorpirifos	Aumento de la actividad de enzimas relacionadas con la desintoxicación corporal de anfibios. Se encontraron diferencias en la longitud y el peso de los cuerpos de los animales.	Brodeur <i>et al.</i> (2011)

Flora

Dado que las comunidades ribereñas y acuáticas son esenciales para mantener la calidad del hábitat de los humedales en los agroecosistemas, muchos estudios han investigado los efectos de los plaguicidas sobre dichas comunidades. Martín *et al.* (2003) estudiaron la vegetación ribereña de un tramo de un arroyo ubicado entre dos parcelas de soja en la pampa, encontrando que la biomasa verde, la riqueza de especies, la cobertura y la abundancia de las especies varían en función de las aplicaciones de herbicidas en un ciclo de cosecha única. Sin embargo, en un estudio de laboratorio, los mismos autores observaron efectos negativos significativos sobre el contenido de clorofila total. Las pruebas de laboratorio encontraron efectos adversos en *Lemnaceae* e *Hidrocaritaceae* a 1,3 mg/l y 20,1 mg/l de herbicida formulado (glifosato y facilitadores), respectivamente. Martín y Ronco (2006) encontraron una mayor toxicidad en las semillas de *Lactuca sativa* por el mismo herbicida formulado. El aumento de la toxicidad puede ser debido a la facilitación de la entrada del herbicida en los tejidos proporcionados por los otros ingredientes; sin embargo, en pruebas de toxicidad comparando los efectos de glifosato rociados y en solución en *Lemna minor* (macrófita flotante) encontraron que el crecimiento de las plantas fue relativamente insensible a glifosato disuelto en el medio de cultivo, mientras que las plantas murieron cuando se aplicó el producto como un aerosol (Lockhart *et al.* 1989).

Desarrollo social y seguridad alimentaria

Más de 150.000 pequeños y medianos productores han desaparecido en los últimos 20 años, incapaces de adaptarse a la situación macroeconómica relacionada con el monocultivo de soja y los impuestos elevados, los altos costos de entrada y de dependencia de los mercados internacionales, que están fuera del control de algunos sectores de la producción (Martínez 2010 y com. pers. 2012). El número de empresas agropecuarias se incrementó de 471.000 en 1947 a 538.000 en 1969, lo que trajo la aprobación de leyes para evitar la subdivisión de la tierra que conduce a la disminución del tamaño de la propiedad. Entre 2002 y 2008 el número de empresas agropecuarias se redujo en 60.000 (333.000 en 2002 y 273.000 en 2008). Estos hechos deberían generar una nueva discusión para reducir los efectos socio-económicos en los sectores más vulnerables. Alrededor de 400.000 personas que dependen de la agricultura, no sólo para la alimentación sino también para mantener su identidad cultural, han migrado a las grandes ciudades o han permanecido en la pobreza en su propia tierra. En relación al nuevo sistema regido por el monopolio de la soja, se hace referencia como un tipo de agricultura sin agricultores, con rentabilidad a corto plazo y un uso irracional de los recursos que oscurece su uso sostenible.

Desde la perspectiva social, la intensificación de la agricultura ha conducido a la reducción de la labor rural. En la actualidad un pool de siembra produce soja

empleando sólo 1,6 hs/hombre/ha/año. Eso marca un parámetro de demanda laboral promedio cuatro veces inferior al promedio empleado hace 12 años (Bragachini *et al.* 2011). Si bien esto puede liberar el capital humano para trabajo en otros sectores económicos, muchos pequeños y medianos agricultores no han tenido éxito en esta búsqueda. Para muchos, los medios de subsistencia se han limitado a vivir de la renta de sus tierras o a trabajar para terceros. Por otra parte, los cambios en la gestión de la tierra han dado lugar al éxodo rural a las ciudades en busca de mejores oportunidades económicas. Estos cambios en la propiedad y la producción están dando lugar a la erosión de las culturas rurales y la pérdida de conocimientos tradicionales y los medios de subsistencia (Pagliaricci y Angel 2012; <http://responde.org.ar/sitio>). La propagación del cultivo de soja también tendrá un impacto en la soberanía alimentaria, dado que se cultiva a expensas de la ganadería tradicional y la producción de otros cultivos (Tomei y Upham 2009). Estos reemplazos o verdaderos desplazamientos tendieron a una simplificación y reiteración del uso del suelo, homogeneización del paisaje, pérdida de biodiversidad y, por sobre todo, la pérdida de jornales y emigración de la mano de obra "lugareña". Contabilizando la mano de obra necesaria por diversos sistemas de producción, comparados con el cultivo de soja, estos valores se destacan a continuación (Pagliaricci y Angel 2012):

Tabla 4.-	
Comparación de los jornales de la mano de obra de diferentes sistemas de producción.	
Producción	Jornales/ha/año
Soja	1
Tambo	9
Batata	20
Rosales	75
Citrus (naranja)	60
Durazno	80
Viveros	150-200
Higos	300

Este avance de la frontera agropecuaria puede también generar impactos indirectos sobre los medios de vida y la seguridad alimentaria de comunidades locales que dependen de los humedales, como en el caso de la región del Delta del Paraná, hacia donde fue desplazada la actividad ganadera y también aparecieron algunas experiencias de agricultura en superficies endicadas, como resultado del avance de la soja en la región Pampeana vecina. Esto se dio de la mano de un proceso de concentración de la tierra, deterioro de los humedales y pérdida de sus bienes y servicios, excluyendo y/o marginando a muchos habitantes de la región cuyos medios de vida dependen de dichos recursos.

Resumen de impactos

De acuerdo a la información disponible y analizada en esta publicación, se presenta más abajo un resumen de los principales impactos negativos de la producción de soja en Argentina (Tabla 5).

Distribución y abundancia de humedales

La expansión del cultivo de soja ha resultado en impactos medios a altos en los humedales de algunos sectores de la región sojera, principalmente por drenaje y canalizaciones orientadas a la conversión de tierras para uso agrícola. Esto es evidente en el sureste de Córdoba y en los alrededores de la Albufera Mar Chiquita, en la provincia de Buenos Aires, con valores de hasta 40% de reducción de la superficie de humedales. En el caso de los Bañados de Saladillo, las canalizaciones resultaron en la degradación del sistema y en la pérdida de conectividad. La pérdida de biodiversidad de los humedales ha sido reportada para el sur de Córdoba, aunque no se descarta que lo mismo esté ocurriendo en otros sectores de la región sojera. También se han documentado casos en los que la pérdida de humedales ha conllevado la pérdida de servicios ecosistémicos de importancia local y regional. Para el caso del Delta del Paraná, la intensificación de la actividad ganadera en las islas como una consecuencia directa de la expansión de la soja, resultó en cambios en las prácticas ganaderas tradicionales y finalmente en los grandes incendios que en el año 2008 quemaron 207.000 ha de islas. En este caso, y aunque no ha sido cuantificado, puede asumirse que la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera no ha sido despreciable.

Salud del suelo

El proceso de *agriculturización* con predominio de soja, trae aparejado cambios en las propiedades del suelo, en la vegetación natural que los humedales soportan, en la economía del agua, pero sobre todo acarrea la erosión del suelo y el correspondiente depósito en zonas bajas, arroyos u otras vías de escurrimiento. La pérdida de cobertura del suelo por el reducido aporte de rastrojos, la compactación, la acelerada extracción de ciertos nutrientes, la expansión a sectores o suelos de baja aptitud agrícola, hacen a la pérdida de biodiversidad y cambios en los balances hídricos. Varios de estos factores pueden ser evitados, corregidos o minimizados con la aplicación de las tecnologías disponibles; mayor preocupación y acción se debe concentrar en la prevención y control de la erosión, tanto hídrica como eólica, dado que traen pérdidas irreversibles pero evitables.

Calidad y disponibilidad de agua

El impacto del cultivo de soja en la calidad del agua del humedal y, en consecuencia, en su disponibilidad, es indirecto y bajo. En primer lugar porque los agroquímicos utilizados tienen baja persistencia en el agua y/o son

neutralizados por los sedimentos o partículas en suspensión. Además, si la producción de soja se lleva a cabo con prácticas responsables, los posibles efectos son mínimos. Sin embargo, debido a las características de la expansión a gran escala y la adopción de ciertos manejos en la producción de soja, se aumenta el potencial de erosión de los suelos y hay una mayor probabilidad de contaminación de los humedales. Por otro lado, si bien son escasas, las evidencias sobre eutrofización de humedales muestran un impacto negativo importante y poco cuantificado que merece ser tenido en cuenta en futuros trabajos. Como se mencionó, es probable la continua expansión e intensificación de la producción de soja y, teniendo en cuenta las prioridades políticas de la nación y las provincias así como la aplicación ineficaz de las normas ambientales, el efecto negativo del cultivo de soja sobre la calidad del agua y su disponibilidad podría ser mayor en el futuro.

Flora y fauna

Las evidencias presentadas en este trabajo demuestran tanto efectos directos como indirectos sobre la flora y la fauna asociada a los ambientes acuáticos cercanos a cultivos de soja. Éstos son producidos principalmente por los agroquímicos, que impactan en diferente grado sobre los organismos de acuerdo al tipo y estadio de desarrollo en que se encuentren. Efectos sobre el tamaño poblacional de muchas especies acuáticas y los cambios fisiológicos y de comportamiento asociados, modifican las relaciones de la red trófica natural del ecosistema, incluso ocasionando la pérdida de interacciones entre organismos. Esto afecta directamente el funcionamiento del ecosistema, la dinámica de las poblaciones (relaciones de planta-planta, plantas-microorganismos, plantas-animales, animales-animales, animales-ecosistema, ecosistema-microorganismos, etc.) y en última instancia a los bienes y servicios, tanto los que brindan para la producción agropecuaria en particular, como para el bienestar humano en general.

Desarrollo social y seguridad alimentaria

La modernización de la agricultura a nivel mundial trajo como consecuencia la reducción de la población rural, proceso acelerado y agravado en Argentina por la *agriculturización* y en particular por el predominio del cultivo de soja, asociado a una alta mecanización y muy baja demanda de mano de obra. Esta verdadera expulsión de la población rural se potencia por la falta de preparación y/o entrenamiento del personal para otras tareas, la falta de ofertas alternativas de trabajo, la compra de insumos generalmente alejados de los lugares de uso, la falta de infraestructura para absorber a desocupados y, en general, la insuficiente planificación para minimizar los impactos de este proceso. A lo mencionado se debe sumar la derivación de un alto porcentaje de la soja a la producción de biocombustibles, lo que trae aparejado un incremento en la competencia por los usos, destinos y precios, que redundaría en aumentos de algunos alimentos, con los consecuentes problemas sociales y alimenticios.

Tabla 5.-		
Resumen de los principales impactos de la producción de soja en Argentina y referencias a los trabajos analizados.		
Tema	Impacto	Fuente de información
Distribución y abundancia de humedales	Pérdida y degradación de humedales, pérdida de conectividad entre los mismos	Quirós <i>et al.</i> (2005), Blanco y Méndez (2010), Brandolin <i>et al.</i> (2012), Booman <i>et al.</i> (2012), F. Salvucci com. pers.
	Pérdida de biodiversidad	Quirós <i>et al.</i> (2005), Brandolin <i>et al.</i> (2012)
	Pérdida de servicios ecosistémicos	Blanco y Méndez (2010), Brandolin <i>et al.</i> (2012), F. Salvucci com. pers.
	Emisiones de GEI resultado de la pérdida y degradación de humedales	Kandus <i>et al.</i> (2009)
Salud del suelo	Pérdida de nutrientes	Vázquez (2005); Cruzate y Casas (2012)
	Salinización /alcalinización	L.A. Cerana y J.L. Panigatti, com. pers.
	Contaminación	Costa <i>et al.</i> (2010)
	Acidificación	Vázquez (2005)
	Erosión	Culasso y De Carli (2001); Casas (2006)
	Compactación	Casas (2006); Casagrande <i>et al.</i> (2009); http://inta.gob.ar/suelos
	Aumento de la escorrentía	Sasal <i>et al.</i> (2008)
Calidad y disponibilidad de agua	Contaminación del agua	Jergentz <i>et al.</i> (2005), Marino y Ronco (2005), Peruzzo <i>et al.</i> (2008), CONICET (2009), Sasal <i>et al.</i> (2010)
	Eutrofización	Vera <i>et al.</i> (2010)
Flora y fauna	Disminución del tamaño poblacional de organismos acuáticos	Jergentz <i>et al.</i> (2004), Carriquiriborde <i>et al.</i> (2009)
	Cambios fisiológicos/etológicos en anfibios y peces	Izaguirre <i>et al.</i> (2000); Lajmanovich y Peltzer (2004); Ballesteros <i>et al.</i> (2009); Brodeur <i>et al.</i> (2011)
	Toxicidad en algas por agroquímicos	Martin <i>et al.</i> (2003); Martin y Ronco (2006)
	Cambios en la estructura de comunidades vegetales riparias	Martin <i>et al.</i> (2003)
Desarrollo social y seguridad alimentaria	Concentración de la tierra y desaparición de pequeños productores	Martínez (2010) y com. pers. (2012)
	Pérdida de medios de vida tradicionales	Pagliaricci y Angel (2012)
	Pérdida de puestos de trabajo	Bragachini <i>et al.</i> (2011)
	Pérdida de la cultura de campo	http://responde.org.ar/sitio

Conclusiones y recomendaciones

América del Sur es la región que registra el crecimiento más acelerado en la producción de soja a nivel mundial, donde el área dedicada al cultivo se ha incrementado unas 30 veces en los últimos 40 años (Catacora-Vargas *et al.* 2012). En Argentina, con la introducción de la soja resistente a glifosato en 1996 y con la siembra directa, se comenzó a cultivar soja a una tasa sin precedentes. En la actualidad este cultivo representa más del 60% de la superficie cultivada y es el que principalmente se utiliza para la producción de biodiesel, convirtiendo a la Argentina en el cuarto país productor y el primer exportador a nivel mundial.

Las exportaciones de biodiesel argentinas han crecido rápidamente y en forma continuada desde 2007, alcanzando 1,69 millones de toneladas en el año 2011 (Muñoz y Hilbert 2012). De acuerdo a la opinión de expertos (A. Mascotena com. pers.), en la actualidad aproximadamente seis a ocho millones de toneladas de soja se usan para biodiesel, aproximadamente el 14% de la producción total de la Argentina.

En Argentina se reconocen dos áreas bien definidas para la producción de soja en función de clima, el suelo y el rendimiento potencial. En las pampas (la región primaria), la producción de soja se ha desarrollado intensamente desde la introducción de la variedad Roundup Ready®, mientras que la región secundaria del cultivo de soja (en particular, el norte de Argentina) es un área de expansión constante asociada principalmente con el desarrollo de nuevas variedades de soja resistentes a la sequía. Esta expansión se ha llevado a cabo con conocimiento incompleto y sin una planificación del uso del suelo, lo que ha conducido a la degradación del ambiente y a un proceso de *pampeanización* como la del Chaco salteño (o *sojización* por conversión de bosques) (Morello *et al.* 2007). Por otro lado, el cultivo de soja en campos arrendados se realiza con el menor costo posible, tratando de maximizar el beneficio económico y sin consideraciones de mediano plazo, situación que resulta en el deterioro del suelo y del ambiente.

La expansión del cultivo de soja va acompañada por un incremento importante en el uso de plaguicidas, especialmente herbicidas y particularmente glifosato (Catacora-Vargas *et al.* 2012). La siembra directa y el uso de glifosato resultan a su vez en la aparición de malezas resistentes a este herbicida, lo cual incrementa el uso de otros herbicidas más tóxicos como el 2,4-D y Paraquat (Catacora-Vargas *et al.* 2012).

A pesar de la disponibilidad de tecnología para la obtención de mayores rendimientos y calidad con menores efectos ambientales, la falta de planificación y los intereses económicos conducen a un manejo de los



Vainas de soja.

RTFS

cultivos con baja prioridad en la conservación de los recursos naturales, y en particular de los humedales. Las prácticas de cultivo de soja y la expansión de la producción hacia zonas ambientalmente sensibles y frágiles, son los aspectos más importantes y preocupantes acerca del modelo productivo actual predominante.

Considerando particularmente los humedales, podemos distinguir dos escenarios bien diferentes en cuanto a las áreas de producción de soja: los paisajes de humedales y los paisajes con humedales. Mientras que en el primer escenario el cultivo de soja no sería una alternativa productiva y deberían maximizarse la conservación de los humedales y el desarrollo de producciones propias de estos ecosistemas –casos como el Delta del Paraná o los Esteros del Iberá–, en el segundo escenario el cultivo de soja debería realizarse con el cuidado necesario de los humedales, de forma de preservar los bienes y servicios que estos ecosistemas brindan a la sociedad y que posibilitan la producción agropecuaria. No obstante, en la mayoría de los casos la importancia de estos ecosistemas no es reconocida aún, ni siquiera desde el punto de vista de la producción, lo cual resulta en su degradación y en serios impactos ambientales.

De acuerdo a la información recabada en este trabajo, la producción y la expansión actual de soja en la Argentina están generando importantes impactos ambientales y sociales, como la degradación de los humedales y su reemplazo, acompañado de la pérdida de la biodiversidad asociada, la contaminación del agua y la pérdida irreversible de la cultura rural y el conocimiento tradicional.

En particular, los impactos ambientales de la expansión del cultivo de soja sobre los ecosistemas de humedales pueden agruparse en dos grandes categorías:

- 1) aquellos asociados a la degradación y pérdida de humedales (pérdida de biodiversidad, pérdida de servicios ecosistémicos, liberación de GEI, etc.), y
- 2) aquellos asociados al uso de agroquímicos (contaminación del agua y suelo, eutrofización del medio acuático, cambios etológicos y fisiológicos de la fauna acuática, mortalidad de biota acuática, etc.).

Un aspecto crítico es la íntima relación existente entre el mantenimiento del régimen hidrológico, los componentes estructurales de los humedales (biodiversidad a todas sus escalas) y las funciones ecosistémicas. Este es un aspecto clave que no es tenido en cuenta cuando se implementan emprendimientos de infraestructura en un humedal, como por ejemplo canalizaciones, obras que afectan en forma directa el funcionamiento ecológico del humedal, como también a ecosistemas vecinos. Más aún, como por lo general no existe una valoración económica directa y a corto plazo de los servicios y bienes que brindan los humedales, su gestión se condiciona a aquellas actividades cuyo beneficio aparente es mayor o es percibido como de retorno rápido. Estas limitaciones amenazan la integridad ecológica de los humedales, y con ello se potencia el riesgo de pérdida de los beneficios y servicios que brindan a nivel ecosistémico, social e incluso económico (Kandus *et al.* 2011).

Frente al avance del cultivo de soja y sus impactos asociados, se hace necesario identificar mecanismos y herramientas necesarias para promover la conservación de los humedales y la calidad del agua.

Si bien Argentina tiene varias leyes ambientales relacionadas con la conservación de los recursos naturales, existe una considerable falta de aplicación y control. Existe una Ley Nacional sobre "Estándares Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos", aún falta legislación sobre normas mínimas para la conservación de los ecosistemas de humedales.

En cuanto a la aplicación de las normas existentes, hay una tendencia general en los sistemas jurídicos y judiciales de Argentina para reducir al mínimo las penas para delitos ambientales, lo cual resulta insuficiente para evitar que se cometan. Sumado a esto, la falta de continuidad en la planificación gubernamental y la falta de claridad en los niveles de impuestos y permisos de exportación hacen que la planificación de la producción sostenible sea muy difícil.

Por otro lado, es clara la falta de información y de conciencia de muchos productores y autoridades responsables sobre la importancia que tienen los humedales y sobre el papel que juegan como proveedores de bienes y servicios claves para la sociedad y para la actividad productiva en particular. El conocimiento sobre los recursos naturales y la tecnología disponible para el manejo de áreas naturales y cultivos es fundamental para el ordenamiento y el uso sustentable del territorio, poniendo freno a los procesos de degradación de los ecosistemas en general y de los humedales en particular, obteniendo al mismo tiempo mayores rindes y la tan deseada sustentabilidad productiva. No obstante la importancia de este conocimiento de base, sin definiciones políticas y sin la posibilidad de planificar en el mediano y largo plazo, el proceso de degradación de los ecosistemas seguirá adelante con alcances impredecibles.

Esquemas de certificación de sustentabilidad y humedales

De la mano del aumento en la demanda de biodiesel a nivel mundial, en los últimos tiempos han surgido varios esquemas de certificación de sustentabilidad que cumplen con los requisitos de la Directiva Europea de Energías Renovables, de los cuales tres serían los apropiados para la certificación de biocombustibles en nuestro país y los adoptados por el mercado argentino (Muñoz y Hilbert 2012): 2BSvs (Biomass Biofuels Sustainability voluntary scheme), ISCC (International Sustainability and Carbon Certification) y RTRS (Asociación Internacional de Soja Responsable).

En particular, RTRS considera los siguientes criterios para la certificación en relación a los humedales:

- No drenar humedales naturales y mantener la vegetación nativa.
- Implementar prácticas agrícolas adecuadas para minimizar impactos difusos y puntuales en la calidad del agua superficial y subterránea debidos a residuos químicos, fertilizantes, erosión u otras fuentes, y fomentar la recarga de acuíferos.
- No realizar la aplicación aérea de plaguicidas de las clases Ia, Ib y II de la OMS a menos de 500 m de áreas pobladas o masas de agua.

Aunque esta consideración de los humedales en los criterios de certificación de RTRS es auspiciosa, aún falta analizar cómo estarán representados estos ecosistemas en los mapas de Áreas de Alto Valor de Conservación (áreas vedadas al cultivo de soja) y si estos mapas serán eficientes para lograr la conservación y uso sustentable de los mismos. Más aún, queda por ver los resultados de la implementación del Estándar RTRS en el campo y de su monitoreo para analizar el éxito en relación a la conservación de los humedales.

Para lograr una producción ambientalmente sustentable necesitamos de políticas eficaces con criterios adecuados de sustentabilidad y control del cumplimiento de las mismas, así como la adopción de "buenas prácticas agrícolas" por parte de los productores, en base a la clara conciencia sobre la importancia de preservar ambientes sanos.

Recomendaciones

De acuerdo a la información recabada en este informe, consideramos que las siguientes recomendaciones conducirían hacia la sustentabilidad ambiental del cultivo de soja:

- A escala regional, impulsar el ordenamiento ambiental del territorio (OAT) como una herramienta clave para restringir la expansión del cultivo de soja, evitando su entrada en áreas de alto valor para la conservación de la biodiversidad, como ser los macrosistemas de humedales, los bosques y los pastizales nativos.
- A escala local, promover medidas para prohibir la expansión del cultivo de soja en los bordes de ríos, arroyos, lagos y lagunas, así como favorecer el desarrollo de vegetación alrededor de masas de agua para prevenir la contaminación por agroquímicos por la deriva y escorrentía, creando al mismo tiempo refugio para la biodiversidad.
- Desarrollar y promocionar entre los productores lineamientos de "buenas prácticas agrícolas" que incorporen el componente ambiental en toda su magnitud, incluyendo la conservación de los humedales, la biodiversidad y el manejo sustentable del recurso agua.
- Promover el monitoreo ambiental, el manejo integrado de plagas y el uso responsable de agroquímicos en establecimientos agropecuarios dedicados al cultivo de soja.
- Identificar indicadores específicos para el monitoreo de los impactos socio-ambientales del avance de la soja sobre los humedales, contribuyendo al desarrollo del "Observatorio de la Soja", acordado en el taller realizado en Brasilia en marzo de 2012 en el marco de "ONGs sudamericanas enfrentando los desafíos de la expansión de soja"(Instituto Centro de Vida *et al.* 2012).
- Revisar el uso de agroquímicos en la producción de soja y sus impactos en los humedales y la biodiversidad, en particular para el glifosato, 2,4-D, paraquat, endosulfan, cipermetrina, clorpirifos y carbofuran. Apoyar y fomentar la investigación relacionada con la contaminación del agua y establecer directrices de gestión para la mitigación de los efectos de la producción de soja.
- En relación al uso de glifosato existe un riesgo real de degradación del ambiente, especialmente de los humedales y, dado el papel fundamental desempeñado por este herbicida en el sistema actual de producción de soja, no es realista prever una disminución en su utilización. Sin embargo, es posible aplicar una gestión racional del producto mediante la adopción de las precauciones necesarias para evitar la generación de malezas resistentes, evitando aplicaciones innecesarias y con dosis mayores a las recomendadas por los fabricantes.
- Es importante generar tecnologías alternativas que en el mediano plazo reduzcan el uso de glifosato evitando así los efectos adversos sobre el ambiente. Además, los sistemas de producción menos dependientes de un solo herbicida son menos vulnerables a las fluctuaciones de precios del mercado.
- Fomentar y fortalecer las interacciones entre los profesionales en las disciplinas científicas y tecnológicas relacionadas con la investigación ambiental y programas sostenibles de producción, junto con los agentes de extensión encargados de la divulgación a los productores y tomadores de decisiones relativas a la producción responsable de soja.
- Concientizar a los productores y otros actores de la cadena de producción de la soja sobre la importancia de los humedales y su importante papel como proveedores de bienes y servicios claves para la sociedad y para la actividad productiva en particular.

Bibliografía y consultas

- ADIMRA 2012. Resumen de noticias del sector energético argentino. Noviembre y Diciembre 2011 + Enero 2012 [en línea]. www.adimra.org.ar
- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 74: 19-31.
- Altieri, M.A. y W.A. Pengue 2006. La soja transgénica en América Latina. *Biodiversidad* 47:14-19.
- Ansink, E., L. Hein y K. Per Hasund. 2008. To Value Functions or Services? An Analysis of Ecosystem Valuation Approaches. *Environmental Values* 17:489-503.
- Aragón, J. 2002. Insectos perjudiciales de la soja y su manejo integrado en la Región Pampeana Central [en línea]. <http://www.inta.gov.ar/>
- Austin, A., G. Piñeiro y M. Gonzalez Polo. 2006. More is less: agricultural impacts on the N cycle in Argentina. *Biogeochemistry* 79: 45-70.
- Ballesteros, M.L., P.E. Durando, M.L. Nores, M.P. Díaz, M.A. Bistoni y D.A. Wunderlin. 2009. Endosulfan induces changes in spontaneous swimming activity and acetylcholinesterase activity of *Jenynsia multidentata* (Anablepidae, Cyprinodontiformes). *Environmental Pollution* 157: 1573-1580.
- Battaglin, W.A., D.W. Kolpin, E.A. Scribner, K.M. Kuivila y M.W. Sandstrom. 2005. Glyphosate, other herbicides, and transformation products in Midwestern streams. *Journal of the American Water Resources Association* 41: 323-332.
- Bertonati, C. y J. Corcuera. 2000. Situación Ambiental Argentina 2000. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires, Argentina. 436 pp.
- Blanco, D.E. y F.M. Méndez (eds.). 2010. Endicamientos y terraplenes en el Delta del Paraná: situación, efectos ambientales y marco jurídico. Fundación Humedales / Wetlands International. Buenos Aires.
- Booman, G.C., M. Callandroni, P. Laterra, F. Cabria, O. Iribarne y P. Vázquez. Areal changes of lentic water bodies within an agricultural basin of the Argentinean pampas. Disentangling land management from climatic causes. *Environmental Management* 50:1058-1067.
- Bradberry, S.M., A.T. Proudfoot y J.A. Vale. 2004. Glyphosate Poisoning. *Toxicological Reviews* 23:159-167.
- Bragachini, M. 2010. Rol de la agricultura de precisión en el proceso productivo y su futuro hacia la competitividad global. 9º Curso de Agricultura de Precisión y 4ª Expo de Máquinas Precisas, Manfredi, Córdoba, Argentina [en línea]. <http://agriculturadeprecision.org>
- Bragachini, M., C. Casini, A. Saavedra, J. Méndez, R. de Carli, E. Behr, L. Errasquin, F. Ustarroz y M. Bragachini. 2011. Evolución del sistema productivo agropecuario en Argentina. Proyecto Agregado de Valor en Origen – PRECOP III. Ediciones INTA.
- Brandolin, P.G., M.A. Ávalos y C. De Angelo. 2012. The impact of flood control on the loss of wetlands in Argentina. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* [en línea]. <http://onlinelibrary.wiley.com>
- Brodeur, J.C., R.P. Suarez, G.S. Natale, A.E. Ronco y M.E. Zacagnini. 2011. Reduced body condition and enzymatic alterations in frogs inhabiting intensive crop production areas. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 1370-1380.
- Bucher, E.H. y J.M. Chani. 1999. Chaco. En Canevari, P., D.E. Blanco, E.H. Bucher, G. Castro e I. Davison (eds.): *Los Humedales de la Argentina: Clasificación, Situación Actual, Conservación y Legislación*. Wetlands International Publ. 46 (2da. Edición), Buenos Aires. 208 pp. + ii.
- CADER. 2008. Outlook for the Argentine biodiesel industry. Cámara Argentina de Energías Renovables, Buenos Aires. [en línea]. <http://www.argentinarenovables.org>
- CADER. 2009. Estado de la industria argentina de biodiesel. Reporte segundo cuatrimestre de 2009.
- Canevari, P., D.E. Blanco, E.H. Bucher, G. Castro e I. Davison (eds.). 1999. *Los Humedales de la Argentina: Clasificación, Situación Actual, Conservación y Legislación*. Wetlands International Publ. 46 (2da. Edición), Buenos Aires. 208 pp. + ii.
- Carriquiriborde, P., J. Díaz, H. Mugni, C. Bonetto y A. Ronco. 2007. Impact of cypermethrin on stream fish populations under field-use in biotech-soybean production. *Chemosphere* 68: 613-621.
- Carriquiriborde, P., J. Díaz, G.C. López, A.E. Ronco y G.M. Somoz. 2009. Effects of cypermethrin chronic exposure and water temperature on survival, growth, sex differentiation, and gonadal developmental stages of *Odontesthes bonariensis* (Teleostei) *Chemosphere* 76: 374-380.
- Casagrande, J., A. Quiroga, I. Frasier y J.C. Colazo. 2009. Aspectos de la evaluación y el manejo de suelos afectados por compactación en San Luis. En Quiroga A., J. Casagrande y J. Colazo (eds.): *Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en el este de San Luis*. Información Técnica 173, INTA San Luis. 15-21 pp.
- Casas, R.R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos, oportunidad para la Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Anales: Tomo LX. Buenos Aires.

- Catacora-Vargas, G., P. Galeano, S. Zanon Agapito-Tenzen, D. Aranda, T. Palau y R. Onofre Nodari. 2012. Producción de soja en las Américas: actualización sobre el uso de tierras y pesticidas [en línea]. <http://www.redes.org.uy>
- Chang, F., M.F. Simcik y P.D. Capel. 2011. Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere: *Environmental Toxicology and Chemistry* 30: 548-555.
- Chaplain, V., L. Mamy, L. Vieublé-Gonod, C. Mougin, P. Benoit, E. Barriuso y S. Nélieu. 2011. Fate of pesticides in soils: toward an integrated approach of influential factors. En Stoytchev, M. (ed.): *Pesticides in the Modern World - Risks and Benefits*. InTech [en línea]. <http://www.intechopen.com>
- CONICET 2009. Evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente [en línea]. <http://www.msal.gov.ar>
- Costa, J.L., V. Aparicio, M. Zelaya, V. Gianelli y F. Bedmar. 2010. Transporte de glifosato en el perfil de un suelo del sudeste bonaerense. En Camino, M. y V. Aparicio (eds.): *Aspectos ambientales del uso de glifosato*. Ediciones INTA.
- Constanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, G.R. Raskin, P. Sutton y M. van der Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Cruzate, G. y R. Casas. 2003. Balance de nutrientes. *Fertilizar*. Año 8. Número especial "Sostenibilidad": 7-13.
- Cruzate, G.A. y R. Casas. 2009. Extracción de nutrientes en la agricultura Argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 44: 21-26.
- Cruzate, G.A. y R. Casas. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. IPNI. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6: 7-14 [en línea]. <http://www.ipni.net>
- Culasso, I. y R. De Carli. 2001. Desarrollo de la siembra directa en Entre Ríos. En Panigatti, J.L., D. Buschiazzi y H. Marelli: *Siembra directa*. II. Ediciones INTA.
- Doornbosch, R. y R. Steenblik. 2007. Biofuels: Is the cure worse than the disease? Organisation for Economic Co-operation and Development Roundtable on Sustainable Development, Paris [en línea]. <http://media.ft.com>
- Engler, P., M. Rodríguez, R. Cancio, M. Handloser y L.M. Vera. 2008. Zonas agro económicas homogéneas Entre Ríos, descripción ambiental, socioeconómica y productiva. *Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales* N° 6, INTA. Buenos Aires, Argentina. 150 pp.
- EPA. 1993. Glyphosate (CASRN 1071-83-6). *Integrated Risk Information System* [en línea]. <http://www.epa.gov>
- FAO. 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. *Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades* [en línea]. www.fao.org
- Fargione J., J. Hill, D. Tilman, S. Polasky y P. Hawthorne P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319:1235-38.
- Franz, J.E., M.K.Mao y J.A. Sikorski. 1997. Glyphosate: a unique global herbicide. *ACS Monograph* 189, American Chemical Society, Washington, DC, 653 pp.
- Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA) y Fundación para el Desarrollo en Justicia y Paz (FUNDAPAZ). 2007. Zonificación de los Bajos Submeridionales del Norte Santafesino. Una Herramienta para la Planificación del Desarrollo Productivo y la Conservación de la Biodiversidad del Humedal. Buenos Aires. Vida Silvestre Argentina.
- García, F.O., I. A. Ciampitti y H. Baigorri (eds.). 2009. *Manual de manejo del cultivo de soja*. IPNI. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. 180 p.
- Gasparri, N.I. y H.R. Grau. 2006. Patrones regionales de deforestación en el subtropico argentino y su contexto ecológico y socioeconómico. En Brown, A.D., U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (eds.): *La Situación Ambiental Argentina*. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires.
- Giesy, J.P., S. Dobson y K.R. Solomon. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup® herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 167:35-120.
- Gnansounou, E., A. Dauriat, J. Villegas y L. Panichelli. 2009. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. *Bioresource Technology* 100: 4919-4930.
- Gómez A.L, A. Alfieri y M. Angelini. 2006. Estudio de Suelos en la Reserva Biósfera Delta del Paraná. INTA Castelar. Buenos Aires, Argentina.
- Gómez S.E. y N.I. Toresani. 1999. Pampas. En Canevari, P., D.E. Blanco, E.H. Bucher, G. Castro e I. Davison (eds.): *Los Humedales de la Argentina: Clasificación, Situación Actual, Conservación y Legislación*. *Wetlands International Publ.* 46 (2da. Edición), Buenos Aires. 208 pp. + ii.
- Goveto L., C. Saibene, P. Moreyra, N. Villarreal, M.E. Nale, M. Romitti, M. Méndez y M. Campos (comps.). 2008. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar Reserva Natural Otamendi [en línea]. <http://www.ambiente.gov.ar>
- Grau, R, M. Aide y I. Gasparri. 2005. Globalization and soybean expansion into semiarid ecosystems of Argentina. *Ambio* 34:265-266.
- Imbellone, P.A., J.E. Giménez y J.L. Panigatti. 2010. Suelos de la Región Pampeana. *Procesos de formación*. Ediciones INTA. Buenos Aires. 320 pp.
- Instituto Centro de Vida, Both Ends y UICN Países Bajos. 2012. *Workshop Soja, Relatorio Final*. Brasilia marzo 2012.
- IPCS. 1994. *Environmental Criteria* no. 152. Polybrominated biphenyls. OMS, Ginebra.

- Izaguirre, M.F., R.C. Lajmanovich, P.M. Peltzer, A. Peralta Soler y V.H. Casco. 2000. Cypermethrin-induced apoptosis in the Telencephalon of *Physalaemus biligonigerus* tadpoles (Anura: Leptodactylidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 65: 501-507.
- Jergentz, S., P. Pessacq, H. Mugni, C. Bonetto y R. Schulz. 2004. Linking in situ bioassays and population dynamics of macroinvertebrates to assess agricultural contamination in streams of the Argentine pampa. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 59: 133-141.
- Jergentz, S., H. Mugni, C. Bonetto y R. Schulz. 2005. Assessment of insecticide contamination in runoff and stream water of small agricultural streams in the main soybean area of Argentina. *Chemosphere* 61: 817-826.
- Jobbágy, E.G. y C. Santoni. 2006. La (nueva) agricultura y la hidrología en la llanura chaco pampeana: Desafíos para las próximas décadas. XXII Reunión Argentina de Ecología. "Fronteras en Ecología: hechos y perspectivas". 22 al 25 de Agosto, Ciudad de Córdoba, Argentina.
- Joensen, L., S. Semino y H. Paul. 2005. Argentina: A case study on the impact of genetically engineered soya. How producing RR soya is destroying the food security and sovereignty of Argentina. Gaia Foundation, London [en línea]. <http://www.econexus.info>
- Kandus, P., P. Minotti, y A.I. Malvárez. 2008. Distribution of wetlands in Argentina estimated from soil charts. *Acta Scientiarum* 30 (4): 403-409.
- Kandus, P., M. Salvia, D. Ceballos, N. Madanes, V. Cappello, M. García Cortes y M. Morais. 2009. Incendios de 2008 en el Delta Del Río Paraná, Argentina. Análisis ecológico sobre el sector de islas frente a las localidades de Zárate, Baradero y San Pedro. Informe técnico.
- Kandus, P. y P. Minotti. 2010. Distribución de terraplenes y áreas endicadas en la región del Delta del Paraná. En Blanco, D.E. y F.M. Méndez (eds.): *Endicamientos y terraplenes en el Delta del Paraná: situación, efectos ambientales y marco jurídico*. Fundación Humedales / Wetlands International. Buenos Aires.
- Kandus, P., R.D. Quintana, P. Minotti, J. Oddi, C. Baigún, G. González Trilla y D. Ceballos. 2011. Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. En Laterra, P., E.G. Jobbágy, J.M. Paruelo (eds.): *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA. Buenos Aires. 740 pp.
- Koh, L. y J. Ghazoul. 2008. Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. *Biological Conservation* 141: 2450-2460.
- Lajmanovich, R.C. and P.M. Peltzer. 2004. Aportes al Conocimiento de los Anfibios Anuros con Distribución en las Provincias de Santa Fe y Entre Ríos (Biología, Diversidad, Ecotoxicología y Conservación). En *Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino*. INSUGEO, Miscelánea, 12: 291-302. Tucumán.
- Lamers, P. 2006. Emerging liquid biofuel markets: ¿Adónde va la Argentina? IIEE tesis: Lund, Suecia.
- Lockhart, W.L., B.N. Billeck y C.L. Baron. 1989. Bioassays with a floating aquatic plant (*Lemna minor*) for effects of sprayed and dissolved glyphosate. *Hydrobiologia* 189: 353-359
- Maitre, M.I., E. Lorenzatti, A. Lenardón y S. Enrique. 2008. Adsorption and desorption of glyphosate in two argentinian soil. *Natura Neotropicalis* 39: 20-31
- Marino, D. y A. Ronco. 2005. Cypermethrin and chlorpyrifos concentration levels in surface water bodies of the Pampa Ondulada, Argentina. *Environmental Contamination and Toxicology* 75: 820-826.
- Martin, M.L. y A.E. Ronco. 2006. Effects of mixtures of pesticides used in the direct seeding technique on non-target plant seeds. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 77: 228-236.
- Martin, M.L., C. Sobrero, C. Rivas, F. Rimoldi y A. Ronco. 2003. Impacto del uso de pesticidas asociados a la siembra directa sobre especies no-blanco. Flora riparia y acuática. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: para la vida y el desarrollo sostenible, Cartagena de Indias.
- Martínez, F. 2010. Crónica de la soja en la región pampeana argentina. *Para mejorar la producción* 45: 141-146.
- Massaro, R.A. 2010. Prácticas de manejo de plagas insectiles para revisar. *Para mejorar la producción* 45. INTA EEA Oliveros.
- Maund, S., M. Hamer, M. Lane, E. Farrelly, J. Rapley, U. Goggin y W. Gentle. 2002. Partitioning, bioavailability, and toxicity of the pyrethroid insecticide cypermethrin in sediments. *Environ. Toxicol. Chem.* 21: 9-15.
- Monti, M. 2008. Retenciones móviles en los granos: impactos económicos en el Distrito de Rufino. Dirección de Extensión e Investigación Agropecuaria, Ministerio de la Producción, Santa Fe.
- Morello, J., W. Pengue y A.F. Rodriguez. 2007. Un siglo de cambios de diseño del paisaje: el Chaco Argentino. En Mateucci, S. (ed.): *Panorama de la ecología de paisajes en Argentina y países sudamericanos*. Ediciones INTA.
- Muñoz, L. y J.A. Hilbert. 2012. Biocombustibles: El avance de la certificación de sustentabilidad en la Argentina. *Informes Técnicos Bioenergía*. Año 1, Número 2. Ediciones INTA.
- Nandula, V.K., K.N. Reddy, S.O. Duke y D.H. Poston. 2005. Glyphosate-resistant weeds: current status and future outlook. *Outlooks on Pest Management*, Agosto: 183-187.
- Ortega, L.E. y E. Azcuy Ameghino. 2009. Expansión de la frontera agropecuaria, restructuración ganadera y sojización en regiones extrapampeanas. XV Jornadas de Epistemología de las Ciencias

- Económicas. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Buenos Aires. 1 y 2 de octubre.
- Pagliaricci, L. y A.N. Angel. 2012. Evolución de la actividad frutícola en el partido de San Pedro. En Producción del duraznero en la Región Pampeana, Argentina. INTA EEA San Pedro.
- Panichelli, L., A. Dauriat y E. Gnansounou. 2009. Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. *Int. J. Life Cycle Assess* 14:144–159.
- Panigatti, J.L. 1976. Molisoles del norte de la zona pampeana. III. Cambios debidos a diferentes manejos. *RIA. Serie 3. XII (3):* 129-143.
- Peiretti, R. 2011. La Siembra Directa y las Instituciones de Productores. Sus roles frente al desafío de aumentar la producción agrícola global en forma sustentable. 20° Congreso Apresid. Rosario, Santa Fe.
- Peruzzo, P.J., A.A. Porta y A.E. Ronco. 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environmental Pollution* 156: 60-61.
- Pessagno, M.R., R.M. Torres Sánchez y M.A. dos Santos. 2008. Glyphosate behavior at soil and mineral-water interfaces. *Environmental Pollution* 153: 53–5
- Pognante, J., M. Bragachini y C. Casini. 2011. Siembra directa. Ediciones INTA [en línea]. <http://www.inta.gov.ar/>
- Poledo, M. 2009. Mercado doméstico de biodiesel. En *IDIA XXI: 12* [en línea]. <http://www.inta.gov.ar/>
- Quirós, R., M.B. Boveri, C.A. Petracchi, A.M. Ranella, J.J. Rosso, A. Sosnovsky y H.T. von Bernard. 2005. Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gestão*. Rede ETROSUL, PROSUL, São Carlos, Brasil. Second draft.
- Racke, K. D. 1993. Environmental fate of chlorpyrifos. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 131:1-150.
- Ramsar. 2008. 10a Reunión de la Conferencia de las Partes en la Convención sobre los Humedales: "Humedales sanos, gente sana". 28 de octubre a 4 de noviembre. Changwon, República de Corea [en línea]. <http://www.ramsar.org>
- Righelato, R. y D.V. Spracklen. 2007. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests? *Science* 317:902.
- Romeo, F. y M.D. Quijano. 2000. Risk Assessment in a third world reality: an endosulfan case history. *International Journal of Occupational and Environment Health*. Vol. 6, Nº4.
- Sasal, M.C., M.G. Wilson y N.A. Garciarena. 2008. Escurrimiento superficial y pérdida de nutrientes y glifosato en secuencias de cultivos. En *Agricultura Sustentable*. INTA EEA Paraná. Serie Extensión Nº 51: 40-48.
- Sasal, M., A. Andriulo, M. Wilson y S. Portela. 2010. Pérdidas de glifosato por drenaje y escurrimiento en molisoles bajo siembra directa. *Información Tecnológica*. Vol. 21(5): 135-142.
- Scheinkerman de Obschatko, E. y F. Begenisic (coord.). 2006. *Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil*. 1a ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA: Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación - SAGPyA. Buenos Aires.
- Scott, D.A y M. Carbonell. 1986. Inventario de humedales de la Región Neotropical. IWRB. Slimbridge, U.K.
- Searchinger, T., R. Heimlich, R. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes y T. Yu. 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319: 1238-1240.
- Thrupp, L.A. 2000. Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *International Affairs - INT AFF* 76 (2): 283-297.
- Tomei, J. y P. Upham. 2009. Argentinean soy based biodiesel: An introduction to production and impacts. *Tyndall Working Paper 132, April* [en línea]. <http://www.tyndall.ac.uk>
- USDA. 2010. Northern Argentina Production Potential Continues to Grow. *USDA Foreign Agricultural Service Commodity intelligence Report* [en línea]. <http://www.pecad.fas.usda.gov>
- Vázquez, M.E. 2005. Calcio y magnesio, acidez y alcalinidad del suelo. En Echeverría, H.E. y F.O. Garcia (eds.): *Fertilidad y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires.
- Vera, M.S., L. Lagomarsino, M. Sylvester, G.L. Pérez, P. Rodríguez, H. Mugni, R. Sinistro, M. Ferraro, C. Bonetto, H. Zagarese y H. Pizarro. 2010. New evidences of Roundup (glyphosate formulation) impact on the periphyton community and the water quality of freshwater ecosystems. *Ecotoxicology* 19: 710-721.
- Vereecken, H. 2005. Mobility and leaching of glyphosate: a review. *Pest Management Science* 61:1139–1151.
- Weyland, F., S.L. Poggio y C.M. Ghersa. 2008. *Agricultura y Biodiversidad*. *Ciencia Hoy* 106: 27-35.
- Zaccagnini, M.E. y N.C. Calamari. 2001. Labranzas conservacionistas, siembra directa y biodiversidad. En Panigatti, J.L., D. Buschiazzi y H. Marelli (eds.): *Siembra Directa II*. INTA, Buenos Aires.

Entrevistas a expertos

- Ing. Agr. / Dra. Cristina **Arregui**, Profesora de Sanidad Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Esperanza, Santa Fe.
- Ms.Sc. Jaime **Bernardos** (Manejo de Vida Silvestre), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Anguil, La Pampa.
- Dr. Julie **Brodeur** (toxicología), Instituto de Recursos Biológicos, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Dr. Eugenio **Cap**, Director Instituto de Economía, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Dr. Pablo **Collins**, Vice Director del Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET), Santa Fe.
- Ing. Agr. / Dr. José Luis **Costa**, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Balcarce, Buenos Aires.
- Dra. Ana M. **Gagneten**, Investigadora del Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET), Santa Fe.
- Ing. Agr. Jorge **Hernández**, Asesoramientos Agropecuarios y Forestales, Coord. Plan Validación del Ministerio de la Producción de Formosa, Formosa.
- Dra. Mercedes **Marchese**, Directora del Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET), Santa Fe.
- Ing. Agr. Jorge **Medina**, Instituto de Economía, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Lic. Roberto **Olivares** (edafología), Director de Suelos y Agua Rural, Ministerio de Economía, Chaco.
- Lic. Laura **Orduna** (biodiversidad), Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Entre Ríos.
- Ing. Qca. / M.Sc. Claudia **Oroná**, Dpto. de Química Industrial y Aplicada y Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- Lic. Qca. / Dra. María C. **Panigatti**, Profesora Impacto Ambiental y Coordinadora Laboratorio, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Rafaela, Santa Fe.
- Ing. Carlos **Paoli** (recursos hídricos), Director del Centro Regional Litoral del Instituto Nacional del Agua (INA) Regional Santa Fe, Santa Fe.
- Ing. Hidráulico Juan C. **Parera**, Relaciones Interinstitucionales de la Administración Provincial del Agua, Chaco.
- Ing. Pablo **Peraud** (producción agropecuaria), Coordinador de ADECOAGRO.
- Lic. Jorge **Peyrano** (edafología), Infraestructura Hídrica, Administración Provincial del Agua, Chaco.
- Ing. Agr. / M.Sc. Miguel **Pilatti**, Profesor Edafología y Director del Dpto. Ciencias del Ambiente, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Esperanza, Santa Fe.
- Dr. Rubén **Quintana**, Investigador Independiente CONICET / Profesor Asociado UBA Grupo de Investigaciones sobre Ecología de Humedales, Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA), UNSAM, Dpto. de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, Buenos Aires.
- Dr. Diego **Rodríguez**, Director Ejecutivo M'biguá Ciudadanía y Justicia Ambiental, Paraná, Entre Ríos.
- Med. Vet. Marcelo **Romano**, Centro de Investigaciones en Biodiversidad y Ambiente "Ecosur", Rosario, Santa Fe.
- Ing. Forestal Martín R. **Romano**, Rector de la Universidad Nacional de Formosa, Formosa.
- Lic. Pedro **Schaefer** (edafología), Profesor de Suelos Forestales de la Universidad Nacional de Formosa, Formosa.
- Enrique **Sierra**, Fundación Óga, San Nicolás, Buenos Aires.
- M.Sc. María Elena **Zaccagnini**, Coordinadora Nacional en Gestión Ambiental / Instituto de Recursos Biológicos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Castelar, Buenos Aires.
- Juan C. **Zembo**, Coordinador Proyectos Institucionales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.

Lista de siglas de instituciones

Aapresid	Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
CREA	Consortio Regional de Experimentación Agrícola
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US Environmental Protection Agency)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GEF	Global Environment Fund
IICA-PROCISUR	Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico, Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INPOFOS	Instituto de la Potasa y el Fósforo
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
MAGyP	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación
MCTIP	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
RTRS	Asociación Internacional de Soja Responsable
SAGPyA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación
SAyDS	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
SE	Secretaría de Energía de la Nación
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria
UE	Unión Europea
YPF	Yacimientos Petrolíferos Fiscales

Otras siglas

2BSvs	Biomass Biofuels Sustainability voluntary scheme
AMPA	Ácido aminometilfosfónico
GEI	Gases de efecto invernadero
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
MO	Materia orgánica
OAT	Ordenamiento Ambiental del Territorio
POEA	Polietilendiamina
SIG	Sistema de Información Geográfica

Biofuels in Argentina

Impacts of soybean production on wetlands and water

Index

Executive Summary	45
Chapter 1 - Introduction	47
Chapter 2 - Biofuels in Argentina	49
National and international legal and policy framework	49
Environmental legislation	49
Biofuels and soybean	49
Agriculture investments and drivers for biofuel development	50
History of biofuel development in Argentina	51
Current national debate about biofuels	52
Chapter 3 - Cultivation of soybean	55
History of soybean production in Argentina	55
Current land area and trends on soybean-based biodiesel production	55
Description of areas used for cultivation of soybean	56
Primary region	56
Secondary region	56
Land tenure systems in soybean production areas	57
Description of cultivation systems	58
Production techniques	58
Principal agrochemicals	59
Glyphosate	59
Cypermethrin	59
Chlorpyrifos	60
Endosulfan	60
Chapter 4 - Impacts on wetlands	61
Wetlands ecosystems in Argentina	61
Primary region	62
Secondary region	62
Impacts on wetland	63
Wetlands distribution and abundance	64
Ecosystem services	65
Soil health	67
Water quality and availability	69
Fauna	71
Flora	73
Social development and food security	73
Summary of impacts	73
Wetland distribution and abundance	73
Soil health	74
Water quality and availability	74
Flora and fauna	74
Social development and food security	74
Chapter 5 - Conclusions and recommendations	77
Recommendations	79
Chapter 6 - Bibliography and consultations	81

Executive Summary

Biofuels are a response to the rapid depletion of fossil fuels and as a fuel which reduces the emission of greenhouse gases compared to fossil fuels. However, the increased use of biofuels from agricultural crops has led to a debate about the impacts of these products on the environment. Mainly they pose a risk to biodiversity because the high profitability of biofuels has led to replacement of natural or semi-natural areas, further marginalizing indigenous and local communities. This process could also be producing more emissions of greenhouse gases than it avoids. With the introduction of glyphosate-resistant soybeans in Argentina in 1996 and the use of no-till technologies the implantation of soybean grew at an unprecedented rate. Currently soybean accounts for over 60% of the cultivated area of the country and is the main crop for biodiesel production; making Argentina the world's fourth largest producer of biofuels and the largest exporter.

The main factors affecting the production of soybean that affect the distribution and abundance of wetlands translate directly into their disappearance and indirectly to their degradation and the loss of connectivity and associated biodiversity. This leads to the loss of valuable ecosystem functions and, consequently, to the loss of goods and services that wetlands provide to society. These services include, but are not limited to, the decreased intensity of the effects of flooding on neighboring ecosystems, the presence of potable water, and the production, retention and fixation of sediment and pollutants, which in turn improves water quality, the storage of organic soil carbon, forage production, the maintenance of key habitats within the landscape, etc.

In relation to soil health, the increasingly intensified agricultural management, dominated by soybean production, leads to the loss of soil cover through reduced crop stubble, accelerated uptake of nutrients, loss of soil biodiversity, changes hydrological cycles (especially in those areas with low agricultural suitability), salinization, alkalization, acidification and soil compaction, among others.

While soybean production can affect the quality and availability of water through pollution and eutrophication of water bodies in agricultural areas, the evidence suggests that these impacts would be relatively low because the chemicals used in soybean production have low persistence in water and/or are neutralized by sediments or suspended particles. Still, there is evidence of negative impacts on the flora and fauna of wetlands adjacent to soybean crops, such as low population size of aquatic organisms, physiological/ethological changes in amphibians and fish, algal toxicity to agrochemicals, and changes in riparian community structure.

Finally, in relation to social aspects, high mechanization and reduced demand for labor for soybean production has led to the concentration of land tenure and the loss of small producers, along with the loss of jobs, traditional livelihoods and rural culture.

The evidence gathered in this paper shows that despite the availability of technology for higher crop yields and quality with lower environmental impacts, the lack of planning and economic interests lead to crop management with little to no attention to conservation of natural resources, especially wetlands. Cultural practices and expansion of soybean production into environmentally sensitive and fragile areas are the most important and of greatest concern in regard to the predominant production model. However, in most cases the importance of wetland is not yet known, even from the point of view of production, resulting in serious degradation and environmental impacts.

This report presents a series of recommendations for soybean production to be compatible with both the maintenance of functions provided by ecosystems, such as local community development. In this regard, it is essential to promote environmental planning as a key tool to restrict the expansion of soybean cultivation from entering areas of high value for biodiversity conservation and to promote measures to ban cultivation along the periphery of rivers, streams, lakes and ponds to prevent pollution by agrochemicals while creating biodiversity refuges. The development of guidelines for "good agricultural practices", maximizing the incorporation of the environmental component and the involvement of producers is key to promoting environmental monitoring, integrated pest management and responsible use of chemicals on farms dedicated to soybeans. Thus, it is necessary to identify specific indicators to monitor socio-environmental impacts of soybean expansion on wetlands.

Supporting and encouraging research related to water pollution would allow the establishment of management guidelines for mitigating the effects of soybean production, generate alternative technologies in the medium term to reduce the use of glyphosate, and to build and strengthen interactions among professionals in scientific and technological disciplines related to environmental research, sustainable production programs, extensionists and policy makers. Finally, it is essential to raise awareness among farmers and other actors in the soybean production chain on the importance of wetlands and their role as suppliers of key goods and services to society, and in particular agricultural production.

CHAPTER 1

Introduction

Recent global economic growth has led to accelerating depletion of fossil fuel resources resulting in the need to develop cost effective alternative energy sources while generating a minimal impact on the environment. Biofuels are promoted towards this end, primarily as a product which emits less greenhouse gases (GHG) compared to fossil fuels; however, the increased use of biofuels has led to debate on their impacts. It is argued that biofuels represent a risk to biodiversity, mainly due to habitat conversion for cultivation, marginalizing indigenous and local communities, and producing more emissions of GHG than it prevents (FAO 2008).

Given the growing worldwide demand for biofuels, which is expected to increase in the future (Doornbosch y Steenblik 2007, FAO 2008), it is also expected that the land area dedicated to biofuel production will increase as well (FAO 2008). Because technology and biofuel policies are evolving at a rapid pace, it is difficult to generalize the specific impacts of biofuels since the effects of each fuel type and production system vary (Righelato and Spracklen 2007, Fargione *et al.* 2008,

Searchinger *et al.* 2008). There are few data on the effects specifically associated with increased production of biofuels, although most are similar to those already known for agricultural production: decreased availability and water pollution, soil degradation, nutrient depletion, biodiversity loss and reduced agricultural diversity, in addition to competing for soil destined for food (FAO 2008). Therefore, to fully understand the possible effects on the environment, natural resources and biodiversity stemming from biofuel production, we must consider the direct and indirect land use changes caused by increased production of biofuels.

Argentina is undertaking this critical review of biofuel production, has signed the Kyoto Protocol in July 2001 (National Law 25.438), participating in the Article 12 which promotes clean development, and is interested in both ensuring the provision of fuel for economic growth and contributing to the conservation of natural resources and environmental improvement, as established by various laws and decrees. Additionally, Argentina has comparative advantages for developing alternative

Fields with soy in Ramallo, Buenos Aires.



energy sources, particularly from agricultural products such as biodiesel and bioethanol, since Argentinian oilseed production is highly efficient and its sector of biofuel market is significant (Scheinkerman de Obschatko y Begenisic 2006).

During the 70's the use of no-till agriculture expanded, considering that environmental management is key in order to make agriculture and food production in a sustainable way, minimizing negative impacts and improving all aspects that scientific knowledge provide. With time, this new paradigm began to take shape and in 1989 the Argentinean Association of No-till Producers (Aapresid in Spanish) was formed adhering to a set of Good Agricultural Practices including crop rotation, site-specific crop varieties and intensity in management, appropriate use of agrochemicals, plant nutrition and replenishment of nutrients to the soil, incorporation of digital technology and precision agriculture and incorporation of cover crops to maximize soil biology (Peiretti 2011).

With the introduction of glyphosate-resistant soybeans (*Glycine max*) in Argentina in 1996 and its strong

applicability to its use with no-till technology, soybean production began to increase at an unprecedented rate. Today soybean accounts for over 60% of the cultivated area in Argentina and is the main crop used for biodiesel production, making Argentina the fourth largest producer of biodiesel and the largest exporter worldwide (Bragachini *et al.* 2011).

Due to its high profitability and thanks to the technologies that have been developed in relation to this crop, soybean has spread to areas where agriculture would have never been possible. In several areas, this expansion is at the expense of the destruction of native ecosystems, such as forests and wetlands. Many are the cases where wetlands have been drained totally to allow the introduction of soybeans and many more those where these ecosystems have been degraded because of agrochemicals contamination.

The objectives of this publication are to provide updated information on the production of biofuel from soybeans in Argentina and discuss current and potential impacts of this production on wetland ecosystems, their ecological integrity and the associated goods and services.

Chascomús Lagoon, Buenos Aires.



Claudio Baigún

CHAPTER 2

Biofuels in Argentina

National and international legal and policy framework

Environmental legislation

With the Stockholm Conference (1972) and the United Nations Conference on Environment and Development (1992) environmental issues in Argentina began to emerge. Article 41 of the national constitution establishes the right of all people to enjoy a healthy environment and the responsibility to preserve it. At the same time it establishes the responsibility of the nation to determine minimal standards of environmental protection and the responsibility of the provinces to meet and enforce those standards. In 1993, Argentina joined the United Nations Convention Framework on Climate Change through Law N° 24.295. Later, in 2001, adopting the Kyoto Protocol with Law N° 25.438.

Under these minimal standards the first law to be enacted in Argentina was N° 25.675: The General Environmental Law. Since the creation of this law there were other specific regulations of environmental protection, such as:

- National Law N° 26.331: Minimum Standards of Environmental Protection of Native Forests, which set out basic guidelines for the enrichment, restoration, conservation, sustainable use and management of native forests.
- National Law N° 25.688: Environmental Water Management, which provides minimal standards for water preservation and wise use. In Article 8, this act refers to the protection of wetlands, stating that "... *the national authority may, upon request of the competent judicial authority, declare critical areas with special protection within certain watersheds due to their natural characteristics or environmental interest*".

Regarding wetland ecosystems, Argentina is a contracting party to the Convention on Wetlands or Ramsar Convention (Ramsar, Iran, 1971), which was ratified by National Law N° 23.919 in 1991 and issued by Decree 693. Amendments to the Convention were approved by National Law N° 25.335 in 2000. Upon joining the Ramsar Convention, each Contracting Party is obliged by Article 2.4 to designate at least one wetland site for inclusion in the List of Wetlands of International Importance. At present, Argentina has 20 Ramsar Sites which protect an area of 5,339,586 ha. In addition to the Ramsar Sites, countries that adhere to the Ramsar Convention should develop and implement their planning

so to promote, as far as possible, the wise use of wetlands in their territory.

Consultations with decision makers from universities, public and private agencies, professional consultants and farmers, stress that the existence of national laws and provincial legislation protecting the environment is sufficient but there are shortcomings regarding implementation, such as lack of updating, insufficient coordination among agencies that implement laws, contradictions of certain rules, etc. The most significant and serious barrier towards sustainable development is the failure to apply, respect, and control or monitor the compliance of regulations. The laws and regulations lack implementation both in space (geographical inequity) and in time (discontinuity).

Public are not encouraged to abide by the law for economic reasons, status, education or societal pressure. This is very negative for the conservation of natural resources, since conservation depends, in part, on an appropriate regulatory framework to monitor the decisions made in the private sector.

Biofuels and soybean

In the case of biofuels, in 2006 the National Law N° 26.093 Plan promoting the Production and Sustainable Use of Biofuels was enacted. This law aims for promoting biofuel production for the domestic market through subsidies exclusively for agricultural societies, directed towards regional economies and strongly promotes the consumption of biofuels by the agricultural sector. The law establishes that for 2010 the blending of biofuels with fossil fuels comprising 5% biodiesel in diesel fuel and 5% bioethanol in gasoline. This also is expressed in Article 13 of Regulatory Decree (109/07), identifying them as B5 (fuels with 5% biodiesel) and E5 (fuels with 5% bioethanol). This percentage may increase (depending on market variables) or decrease (in situations of scarcity). Article 10 of the Regulatory Decree grants the possibility to the Enforcement Authority (Ministerio de Energía - Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios) to advance the mandatory use of biofuels below 5% if it considers that conditions are reasonable. In the case of increasing the percentage of biofuels in mixes there will be an announcement of at least 24 months in advance.

In July 2010 Resolution 554/2010 was established, which mentions an increase in the proportion of biodiesel mixed with fossil fuels to 7%. The basis for this increase lies, mostly, in that biodiesel processing companies have the production capacity and product range in the



Donald Peck

Organic Soybean in Estancia Las Dos Hermanas, Córdoba.

quantities necessary to effecting increase the current percentage of biodiesel in diesel fuel in the domestic market. In this way, this meets the demands of diversifying the energy matrix, promising growth of the national agricultural sector and the overall economic activity¹.

In 2006 the Roundtable for Responsible Soy (RTRS) was formed, an international initiative that promotes the use and responsible growth of soy production through the commitment of key actors in the production chain via setting a global standard for responsible production². This initiative aims to facilitate a global dialogue on economically viable soy production that is socially equitable and environmentally appropriate. In 2011 the RTRS adopted the standard for responsible soy production, which includes requirements to conserve areas of high conservation value, promoting best management practices, ensure fair working conditions and respect the claims of land tenure. Currently, it is working on the development of national interpretations of the standard in key countries such as Argentina, Brazil, Paraguay, India and Bolivia.

Agriculture investments and drivers for biofuel development

The expansion of agriculture and the advance of soybeans have driven significant growth in several economic sectors directly and indirectly linked to production and has brought a new dynamic to local, regional and national economies in response to growth in international demand and prices. This was very noticeable in the late 1990's and early twenty-first century.

The biodiesel industry in Argentina has exhibited steady growth with soybean production rising 24 times during 2006 to 2011, from 130,000 tons to 3,084,000 tons (Bragachini *et al.* 2011). By 2007 Argentina's biodiesel industry had a large export component, positioning by 2009 as the world's largest exporter and since 2010, when the government introduced the mandatory mixing of biodiesel with diesel fuel (first 5%, then 7%, in September 2011), biodiesel plants took up the challenge of supplying new domestic demand without losing their leading role as exporters (ADIMRA 2012).

¹ <http://www.argentinarenovables.org/leyes.php>

² <http://www.responsiblesoy.org/>

Currently, there are over 30 biodiesel processing plants, medium and large-scale, investing more than 900 million dollars in five years. Some of the most important plants are located near the port terminal of Rosario, but there are plants of different sizes in towns and cities across the country, providing employment and value added to the crop (ADIMRA 2012).

The introduction of biofuels as an energy source in Argentina is a momentous decision for its implications on the environmental (reduction of carbon emissions), economic (depletion of fossil fuels compared to continued growth in consumption, the potential of agriculture to offer a proportion of production as an energy source, the generation of alternative employment opportunities and diversification of agri-business, both in the Humid Pampas as well as for regional economies) and strategic levels (promotion of renewable energy sources) (Poledo 2009).

Potential export markets, such as the European Union (EU), offer opportunities for increased trade and therefore economic development: in only one year, biodiesel generated more than 200 million dollars in tariffs (CADER 2009). Another policy objective is that of increasing energy security and diversification. Since the economic crisis in 2001, investment in the oil sector has fallen behind increasing demand and by 2010 Argentina became a net importer of oil. The government is therefore keen to ensure new energy supplies (Lamers 2006, USDA 2010).

Other important factors driving biofuels are pressure from the agricultural sector and differences in export tariffs. To promote the production of value added products, the government has reduced export taxes on such products. Whereas exports of soybean oil are subject to export taxes of 32%, biodiesel produced in Argentina is subject to 14% tax, thus reducing the price of local soybean oil (CADER 2008). While the production of biodiesel incurs an increase in production costs (around 10% for large producers), the difference in export tariffs provides an incentive to produce biodiesel for the export market. In practice, the tax differential is financed by a fall in the incomes of farmers, who receive a lower price for their products (Tomei and Upham 2009).

History of biofuel development in Argentina

The history of biofuels in Argentina began in 1928 with the use of a fuel blend called "Giacosa" (15% petroleum, 5% methylene and 80% alcohol), invented by Luis Giacosa who patented it on October 3, 1927. Years later, in 1942, the governor of Tucumán used a vehicle powered by a fuel that was 30% denatured alcohol and 70% gasoline to travel throughout Argentina to demonstrate its use as a substitute for gasoline. Since the experience was successful, the department of research and development of the state oil company,

Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), began testing on biofuels. Not until 1979, after many years of research and testing, did the province of Tucumán initiate "Plan Alconafta" which was aimed at promoting the use of ethyl alcohol derived from sugar cane (*Saccharum officinarum*) as fuel. Up until early 1987, 12 provinces made up the plan since alconafta was economically viable because it was subsidized by the state. However, during the following years the sugar harvests were low and not sufficient to cover the necessary consumption of alcohol. Moreover, the international price of sugar rose, leading to the abandonment of the "Plan Alconafta". There have been several additional attempts to promote the use of biofuels, but the low possibility of receiving economic incentives similar to those for petroleum fuels represented a barrier and discouraged investment in the sector (Scheinkerman de Obschatko y Begenisic 2006).

Considering the passing of the Biofuels Law (N° 26.093) and faced with the exhaustion of petroleum stocks and rising prices of petroleum and other non-renewable energies, ethanol as alternative energy is encouraged in Argentina. Ethanol is mainly produced from sugar cane whose distilleries are concentrated in northwestern Argentina. In 2010 the country produced 114 million liters of ethanol from six distilleries. Today, the sugar cane-based plants promise the national government to supply 25% more ethanol during 2012 than in 2011. According to Resolution 5/2012 published in the Official Gazette³, which is signed by the Secretary of Energy, Daniel Cameron, 11 companies –"nine mills and two corn alcohol distilleries"– will produce 260 million liters of ethanol, against 210 million liters promised for 2011. This implies a 23.8% increase in total biofuel produced to replace gasoline.

Biodiesel production in Argentina, mainly from soybean, was only a few years ago undertaken on a small scale. Some plants were operating during the 90's, but reached very low levels of production. Only since 2004 had production began to grow and has had a steady growth since 2006. Consequently, Argentina ranks third in production capacity of biodiesel worldwide, being the fourth largest producer and the largest exporter of this biofuel by 2010 (Bragachini *et al.* 2011).

In the realm of science and technology, different institutions in Argentina, such as the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), the Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) and the Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), have undertaken various investigations concerning biofuels, especially directed towards demands from federal agencies such as Secretaría de Energía (SE), Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP), Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MCTIP) as well as provincial governments and municipal departments of agriculture. INTA maintains cooperation agreements with international organizations such as the Food and Agriculture Organization (FAO), the Global

³ <http://www.eldial.com/nuevo/boletin/2012/BO120130.pdf>



Rubén D. Quintana

Field with soy over National Route N° 9, Buenos Aires.

Environmental Facility (GEF), the United Nations for Industrial Development Organisation (UNIDO), the Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA PROCISUR), and the US Environmental Protection Agency (EPA), oriented to meet the demands of industry and society⁴.

The investigations being carried out by INTA include energy balances, life cycles, efficiency studies, implementation of Geographic Information Systems (GIS) at regional and national levels, economic and energy evaluation of the production of bioethanol and biodiesel, and the improvement and assessments of crops for ethanol production such as sugar cane (*Saccharum officinarum*), corn (*Zea maiz*), sweet sorghum (*Sorghum bicolor*), sugar beet (*Beta vulgaris*), and switch grass (*Panicum virgatum*) and the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), safflower (*Carthamus sp.*) and jatropha (*Jatropha curcas*) for biodiesel production⁴. These studies seek to assess the agro-industrial systems that produce biofuels in the country by ecoregion, their energy balances, the use of their products, and correct waste treatment. These studies also establish benchmarks for sustainability and encourage production systems that illustrate effective management of natural resources which also optimize production.

Current national debate about biofuels

There are various and partly totally opposed streams in the national debate regarding the advantages and disadvantages of biofuels, reflecting different perspectives.

On the one side, there is the general trend to support the development of biofuels. This positive view represents also the current perspective of Argentinian policy, which provides enormous incentives for enhancing biofuel production. On the other side, there is a magnitude of reports warning of excessive expectations and of negative effects of uncontrolled rise of biofuel production on the environment and on human health. However, these opinions, analyses and assessments are published mainly in scientific journals not available to the general public.

Argentina has two important national newspapers which address issues related to biofuels. Although not covered on a regular basis, readers are moderately well informed about the current and future importance for the need to use biofuels. The level of knowledge of the readers can be considered good, but it must be emphasized that due to the size of the country, other available media, the level of education and societal behavior there are other important means for the dissemination of information.

⁴ <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/bio.htm>

The topics covered in articles, general publications, economic and industry sections, agriculture oriented supplements and editorials, invited opinions, and readers' letters contribute to forming public opinion.

The two national newspapers make it known that, according to the Law 26.093 by 2010 national fuel consumption needs to consist of at least 5% biofuels. This is obtained through the existing ability to produce biofuels, the abundance of soybeans and necessity to comply with the law.

An interesting point is that much of the population, mainly the lower income, uses radio (AM and FM) and some local TV channels as their principal source of information. These sources also address the issues related to development, production needs and uses of biofuels, but also cover the topic of climate change and the role that biofuel development will play in it.

In synthesis, information on biofuels is sufficient, disparate, related to other issues (climate change) and produces opportunities for local or regional use of alternative energies.

CHAPTER 3

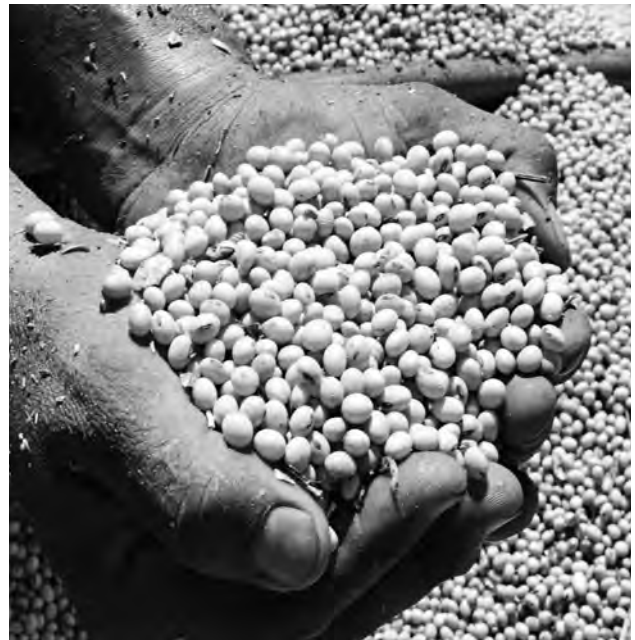
Cultivation of soybean

History of the soybean crop in Argentina

The first sowing of soybean in Argentina was made in 1862, but only in 1925 the Minister of Agriculture introduced soybeans from Europe –known at that time as hairy vetch or “soja hispida”– and promoted its adoption. Up until 1956 the basics aspects of soybean crop were still unknown. During the 1970’s, soybean cultivated areas began to expand in Argentina, mainly into the pampas. On August 6, 1971, in the Casilda School of Agriculture, local INTA Rural Extension Agency organized the first meeting on soybean expansion, attended by 120 farmers who shared their experiences. From this meeting evolved the second agricultural revolution in the pampas, the first being wheat production starting in 1860: 770,000 ha were planted with soybean in 1977, increasing to 1.75 million ha in 1978. For a century no such thing had occurred in the pampas. In 1992 the area planted with soybean exceeded that of wheat (*Triticum aestivum*), which was the “civilizing” crop of the pampas. This change marks not only a quantitative difference but a definite modification of the northern pampas, as soybean requires more investment and knowledge than wheat. Many multinational agrochemical companies are established in Argentina, taking advantage of soybean expansion (Martínez 2010, pers. comm. 2012), which increased during 1996-1997, when genetically modified soy was introduced, facilitated by the widespread adoption of minimum tillage sowing (Figure 1).

In addition, this growth benefited from higher production costs of alternative crops such as corn and sunflowers (*Helianthus annuus*) and shorter contracts for soybeans. Since the middle of the 1990’s, soy was primarily grown in crop rotation patterns with wheat and maize, rotations that are still practiced in Argentina. Nevertheless, most often only by farmers which can afford high machinery and seed input. At present, 18,885,000 ha are planted with soybean, representing 61% of the row crop area in Argentina¹.

Increases in crop production can occur from variation of two factors: an improvement in yields or an increased acreage. Increased crop yields, which have still not peaked, are associated with the adoption of new technologies by the agricultural sector, particularly in recent years. The increase in acreage has been at the expense of replacing natural ecosystems such as native forests (Gasparri and Grau 2006) and/or by the displacement of other activities such as livestock and dairy production or other crops. For example, there is a clear relation between the situation of the Parana Delta



Soybeans ready for going to market.

RTRS

and the surrounding agricultural landscape. Big-scale livestock farming and changes in land-uses within the region are a direct consequence of the massive expansion of soybean cultivations. Soybean crop was the main driver forcing livestock (around 1,500,000 cows) to move from the pampas to the edge of the Parana Delta and its islands. This scenario includes the construction of embankments, the spraying of agrochemicals and the use of intentional fires (207,000 ha of native vegetation were destroyed by fires in April 2008), which seriously threaten wetlands and organic soils (Blanco and Méndez 2010).

Current land area and trends on soybean-based biodiesel production

According to consultations with specialists (Agustín Mascotena, Executive Director, RTRS), there is presently about 6-8 million tons of soybean used for biodiesel, approximately 14% of the total production of Argentina.

Future scenarios portray Argentina as a principal producer of soybean and biofuels. Available technologies and medium-term policies give confidence to producers and can easily lead to production exceeding 130 million

¹ <http://www.siiia.gov.ar/>

tons of cereals and oilseeds annually. Soy is, and will continue to be, ranked first in area and economic performance, which may increase significantly when production is encouraged for use as a biofuel. This new market will bring higher prices, along with another expansion of soybeans planting and production for export, biofuels and for domestic consumption, mainly in meat production.

For the coming years the global outlook for biofuels will depend on a number of interrelated factors, including petroleum prices, the availability of cheap raw material, the continuity of public policies that encourage the industry, technological changes that could reduce the cost of second-generation biofuels (algae and cellulose), and competition from unconventional fossil fuels (coal, gas and oil shale). On the demand side, several countries are gradually pushing for regulations for the period 2007-2013².

Description of areas used for cultivation of soybean crop

Currently, soy farming occupies a large area extending from parallel 23°S to parallel 39°S. Within this area, two major production regions could be distinguished (Figure 2), differing significantly in cultivated area (Figure 3A) as well as in soybean production (Figure 3B). These differences are associated with environmental conditions such as soil quality and climate.

Soybeans are grown on soils with moderate levels of organic matter and high levels of fine material such as silt and clay -mostly from loess deposits- with predominantly surface silt loam.

Primary region

The primary region is located in the pampas of central-eastern Argentina, comprising the south of Santa Fe, south-central Córdoba, north-west Buenos Aires and west-central Entre Ríos provinces (Figure 2). This is characterized by agricultural production and the development of soybean cultivation on a large scale (Figure 4).

The primary region accounts for the 90% of the country's total output (Figure 3A). This region of high intensity production coincides with a strip of about 200 km along the west bank of the Parana River, expanding on the east bank, up to its confluence with the La Plata River. Soybean production in this region has increased due to infrastructure, proximity to ports, improvements in yields through the application of technological and/or the displacement of other crops such as cotton (*Gossypium herbaceum*) in the north of Santa Fe and Chaco and corn and sunflowers in the north and southwest of Buenos Aires.

In this region the area cultivated in soybean varies between 25% and 75% (Figure 2). Departments with the greatest soybean areas are in Buenos Aires: Leandro N. Alem (72.6%), Captain Sarmiento (69.0%), General Arenales (67.3%) and Salto (65.6%); in Córdoba: Marcos Juárez (68.2%) and Río Segundo (59.8%); and in Santa Fe: Constitución (71.0%), Caseros (69.3%), Rosario (66.1%) and San Lorenzo (64.2%).

The climate is mild with an average annual temperature of 17° C and average annual rainfall of >900 mm, with regional variations due to the proximity to the ocean and differences in topography. This region corresponds to pampean sub-regions known as the Rolling and Inland Pampas. 42% of soils are suitable for agriculture and land holdings are small to medium in size (50 to 300 ha), with well developed infrastructures. Agriculture is the predominant economic activity and increases annually due to the presence of *contratistas*, transitory contractors with the machinery for seeding and harvesting medium to large areas.

Secondary region

The adaptation of soybean to different environmental conditions, due in part to their low demands and "plasticity" (does not need soil rich in nutrients, is carried out in neutral or slightly acidic soil, does not require much water, it is tolerant to certain salinity levels, etc.), has allowed its expansion to less productive and more fragile extra-pampean regions (Figure 2). Thus, the secondary region extends from the provinces of Chaco, Salta and Tucumán in the north, to San Luis, north La Pampa and south-central province of Buenos Aires.

Soybean expansion in the north of Argentina has been possible mainly due to the conversion of native forest (Figure 5) and displacement of extensive livestock production. Subsequently, the agriculture matrix has become increasingly predominant over forest remnants, differing in their degree of human disturbance and vegetative succession (Bertonati and Corcuera 2000). This zone is a plain with little relief except for a weak slope in northwest-southeast direction, indicated by the direction of parallel rivers that flow through the territory. The three major rivers running through the region (Pilcomayo, Bermejo and Salado) receive water from tributaries for 600 km from their origin in the Andes, leaving much of its waters in wetlands, and are not navigable except the Bermejo in its final downstream section.

The northern part of the secondary region can be separated into two areas considering precipitation: the east with rainfall of >1,000 mm annually throughout the year, although higher in summer, and the west, with a winter dry period up to eight months. Vegetation varies accordingly, with forest supporting economic valuable species, as *quebracho* (*Schinopsis* spp.), *cedro* (*Cedrela odorata*) o *lapacho* (*Tabebuia* spp.) predominating in the

² <http://www.ers.usda.gov/AmberWaves/November07/Features/Biofuels.htm>



RTRS

Soybean harvest.

northeast on sandy-clay soils, interspersed by clearings on saline or hydric soils. Colonization over areas where the forest has been cleared is only by palms, such as *pindó* (*Syagrus romanzoffiana*) and *yatay* (*Butia yatay*), which are associated to grazing lands, known as “*abras*”. Towards the west, the semi-humid Chaco forest is interrupted by extensive open fields covered with grasses and prickly vegetation. More westward, as precipitation decreases, the presence of cactus is more common and forms impenetrable thickets in clearings. The predominant tree species is quebracho, which exploitation has caused the destruction of natural forest, with no regeneration, with consequent advance of desertification in areas where environmental conditions are not conducive for agriculture. The population is partly formed by indigenous groups; main urban centers are located in the highlands or ridges over the shores of the Paraguay and Parana rivers and where Salado and Dulce rivers cross in Santiago del Estero, known as “diagonal fluvial”. Resistencia, capital of Chaco province, is the major city in this area and has a natural exit to the Parana River, the port of Barranqueras³.

In areas such as the Flooding, central area of Buenos Aires province, soybean production is more recent, replacing livestock during drought periods with consequent loss of pastures (mostly semi-natural). In the secondary region of soybean production, planted

area generally does not exceed 25% of the territory, although some municipalities have >25% of their area under cultivation. For example, Chacabuco (48.5%; Chaco), General Belgrano (39.7%; Chaco), Cruz Alta (34.8%; Tucumán), La Cocha (34.3%; Tucumán), Necochea (34.0%; Buenos Aires), Tandil (33.3%; Buenos Aires), Burruyacú (30.2%; Tucumán), Belgrano (29.9%; Santiago del Estero), Salliqueló (29.7%; Buenos Aires), Uruguay (28.4%; Entre Ríos) and General Taboada (27.9%; Santiago del Estero).

Land tenure systems in soybean areas

The economies of scale inherent to the new production system of soybeans, as well as the many economic crises that have plagued the country, have led to the concentration of land ownership. In the 1990's, state policies favored large producers, defining farms smaller than 200 ha as ‘uneconomical’. From 1992 to 2002, an estimated 60,000 small producers left agriculture (Joensen *et al.* 2005). During 2007, 60% of soybean harvest was produced by just 4% of farmers. In addition, high international price of soybean and its profitability has led to a rise in tenant farming and absentee landlords (Tomei and Upham 2009). Farmers who are unwilling or no longer able to take the production risk

³ http://www.todo-argentina.net/geografia/argentina/reg_chaco_e.htm.

rent out their land to others (neighbors, contractors or investment trusts), who manage production from year to year. As a result, the value of land has increased five times in the past decade (Monti 2008), and in 2007 some 60% of farms were managed by tenants. The process has inevitably led to a loss of traditional and cultural knowledge which is irreversible.

The concentration of rural enterprises will continue to occur due to the need to adapt to short-term policies and other uncertainties, conditions where small and medium farmers are not financially able to reinvest in technology and modernize their businesses, and subsequently choose to rent or sell their properties. Between 1969 and 1988 the process of land concentration presented an annual trend of about a -1.35% change in the number of enterprises, while during 1988 to 2002 the process accelerated to -1.65%. During 1988 to 2002 the number of rural enterprises reduced from 538,000 to 333,000 and it is estimated that with the continued dominance of row crop agriculture and the formation of groups who rent land (cooperatives, *pool de siembra*, and trusts), this trend will accelerate.

This situation of land tenure concentration can be analyzed from various perspectives, the main ones being productive, social and economic. The concentration of land in few hands or companies could bring economic improvement and production but also concentrate profits for those few while reducing local expenditures and investments since the process depends on inputs from major commercial centers rather than local towns. The handling and application of modern technology can bring both increased production and conservation of natural resources when production is planned over the long term, or for those who rent annually or over the very short-term, or for crops where production and income are maximized by ignoring the environmental conservation or social aspects. Between these extremes lies a vast range of situations permitted by legislation or the lack of law enforcement.

Description of cultivation systems

Production techniques

Land preparation for soybean planting has evolved in recent decades from a traditional system of soil tillage to no-till sowing. Over 80% of soybean planting, both first and second plantings (following wheat), are done using no-till and seeds inoculated with nitrogen-fixing bacteria (Pognante *et al.* 2011).

The time of sowing, carried out between August and February, depends on the area of cultivation, the preceding crop, and the availability and costs of seeds. Seeds are sown in rows spaced 45-60 cm apart and range between 45-50 plants per square meter (450,000-500,000 plants/ha). The density varies with soil, climate and plant variety and if the crop is rain fed or irrigated (García *et al.* 2009).

Using no-till, weed control is achieved by chemical treatment and the near total adoption of glyphosate-resistant varieties of soybeans has determined that glyphosate is the most widely used herbicide. However, there are alternative products for different conditions (type and amount of weeds), which can complement the application of glyphosate (García *et al.* 2009).

Fertilization of soybean is important in order to get best yields. The main fertilizer used in soybean production is the single superphosphate, also known as starter fertilizer because it is applied during sowing providing required levels of phosphorus, sulfur and calcium. Application rates range between 50 and 100 kg/ha but the amounts vary depending on soil type and previous crop (García 2009). For example, in the southeast of Buenos Aires province almost no nitrogen fertilizers are used (only inoculants) and approximately 80 kg of diammonium phosphate (DAP) or triple superphosphate equivalent are applied to about 16 kg of phosphorus; in this cases a small amount of nitrogen is applied (approx. 13 kg/ha).

Soybean is very drought resistant, particularly compared with other pampas' crops. It needs moisture but not flooding, since this suffocates the plant roots. For this reason it does not require copious amounts of irrigation but must maintain slight soil moisture. Due to soil and climatic conditions, the need for irrigation of soybean in the primary region is negligible.

Soybean is the second crop affected by pests –mainly insects– after cotton, which cultivation occurs in the north of Argentina. Due to this, soybean requires more insecticides than cereals (corn, wheat) or other oilseed crops (sunflower, rapeseed). Soy is attacked by a great diversity of species of defoliating caterpillars (Lepidoptera: Noctuidae) during the growing season, whereas during the fruiting stage increases populations of *chinches* (Hemiptera: Pentatomidae), insects that pose a serious threat to the crop for its large effect on yield and seed quality. Because of early planting, soybean is also attacked by molluscs (slugs and snails) and crustaceans (*bicho bolita*), and other pests like cutworms, which can cause severe crop damage early in the growth cycle. During the 2001/2002 season, attacks of *chinches* (*Nezara viridula* L. and *Piezodorus guildinii* West.) increased and in some cases led to total losses in some fields and high levels of damaged grains and low yields in others (Aragón 2002).

Soybean yields depend on the variety used, soil type, crop management, weather, and its planting in quality environments and under good management can produce more than 4,500 kg/ha. Several factors may adversely affect yields and major diseases that attack the crop are the “end-of-cycle” diseases (EFC) and the Asian rust (RAS), whereas other diseases attack the stem and roots. The main strategies against EFC include the use of tolerant cultivars, seed treatments, management practices (crop rotation, planting dates, fertilization), and foliar application of fungicides. To control RAS, management measures include planting in short cycles, elimination of *plantas guachas*, systematic monitoring and chemical control using fungicides (García *et al.* 2009).

Of note is the enormous advance in precision agriculture occurring in Argentina in recent years aiming to achieve an efficient management of the variety of interacting factors influencing crop yield in different environments within a farm (Bragachini 2010.) The Precision Farming Project of INTA functions in close association with the private sector, suppliers, technical leaders in precision agriculture and institutions such as Aapresid, Consorcio Regional de Experimentación Agrícola (CREA) and Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). This project directs its efforts towards overcoming specific problems in production systems, under the concept of achieving gains in productivity through more and better data collection, improved methodologies for analysis and diagnosis, tending in the medium term to site-specific management of crops and soils (<http://cdi.mecon.gov.ar/biblio/docelec/dp3562.pdf>). The possibility of geo-referenced agronomic data management offered by this technology is already providing concrete benefits in Argentina. Producers manage maps of yield, and undertake correct trial designs of management factors across the natural and induced sources of variability in large lots, and manage costs more precisely and efficiently than other producers who lack such technical information (Bragachini 2010).

Principal agrochemicals

As already mentioned, no-till is the main production system used in soybean cultivation. This technology is strongly associated with the use of the herbicide glyphosate, along with insecticides cypermethrin and chlorpyrifos, varying with management, culture rotation and the type of pest. Some characteristics of the main agrochemicals used in soybean production are presented below.

Glyphosate

Glyphosate, the principal herbicide used in the production of soybean due to crop resistance to the chemical, is a systemic, non-selective, broad spectrum herbicide which affects post-emergents and is, used to control annual and perennial graminoides, broadleaf weeds and woody species. Glyphosate is an acid, but is commonly used in salt form, most commonly as isopropylamine salt of glyphosate or isopropylamine salt of N-(phosphonomethyl) glycine (Nandula *et al.* 2005). Pure glyphosate is a crystalline solid with high water solubility (12 g/L) (Franz *et al.* 1997) and very low vapor pressure (5.7×10^{-8} Pa at 25°C) (Battaglin *et al.* 2005). From a human health perspective, glyphosate is classified as carcinogenic category D because of evidence of non-carcinogenicity for humans (EPA 1993).

Glyphosate inhibits the biosynthesis of aromatic amino acids (phenylalanine, tyrosine and tryptophan) such as the enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate (EPSP) synthase (Franz *et al.* 1997). It can also suppress the action of two enzymes, chorismate mutase and prephenate dehydratase, involved in other steps in the synthesis of these amino acids. All these enzymes are part of the chemical acid pathway present in higher



Agrochemical application.

RTRS

plants and microorganisms but not in animals (Franz *et al.* 1997). The mean half-life of glyphosate in soil has been reported as 32 days in forests and row crops but varies considerably as a function of microbial activity, soil pH, and temperature (Giesy *et al.* 2000, Chang *et al.* 2011). In the environment, glyphosate is degraded to aminomethylphosphonic acid (AMPA). The half-life of AMPA is largely unknown but is thought to be greater than that of glyphosate, because it has been observed to accumulate in soil. Both glyphosate and AMPA have been detected in natural waters near agricultural areas (Chang *et al.* 2011).

Glyphosate is very soluble in water, remaining in the ionic state and adhering to particles. This gives glyphosate high stability and transport capacity while assuring retention in aquatic ecosystems. It persists in ponds from 12 to 60 days and has a half-life in sediments of up to 120 days (IPCS 1994).

Glyphosate, being water soluble, does not cross lipid membranes such as skin, so products require surfactants that act as carriers to penetrate plants and animals. These products, such as Polyethylenediamine (POEA), also have their own toxicity and exacerbate the effect of herbicides (Bradberry *et al.* 2004). There is insufficient evidence to conclude that glyphosate preparations containing POEA are more toxic than those containing alternative surfactants. Although surfactants probably contribute to the acute toxicity of glyphosate formulations, the weight of evidence is against surfactants potentiating its toxicity (Bradberry *et al.* 2004).

Cypermethrin

Cypermethrin is the principal insecticide applied to soybeans. It is a natural insecticide, but this pyrethroid has been modified to make it persistent in the environment with much higher biological activity than its natural form. Evidence suggests that after application to crops, residues can be found in soils, surface water and sediments, but biodegrades relatively quickly and its residues do not remain in the environment for a

prolonged period. Despite the influence of various factors, it is considered that the half-life in soil under aerobic conditions is 4 days to 8 weeks and in water it is greater than 50 days (Maund *et al.* 2002).

Cypermethrin eliminates *Coleoptera* and *Lepidoptera* and can be applied by land or air. A frequent practice is to apply cypermethrin and other pyrethroids too early at the beginning of the growth cycle ("pyrethroid jet") accompanying the application of glyphosate. The belief that persistence in the system has a protective effect has helped to promote the mass adoption of this unnecessary practice, mainly in the south of Santa Fe, regularly with the use of glyphosate during the development of soybean and on treatment of chemical fallows prior to planting (Massaro 2010).

Chlorpyrifos

Chlorpyrifos is an organophosphorus compound that displays broad-spectrum insecticidal activity against a number of important arthropod pests. Various formulations of chlorpyrifos have been developed to maximize stability and contact with pests and minimize human exposure. Due to the nonpolar nature of the chlorpyrifos molecule, it possesses a low water solubility

(< 2 ppm) and great tendency to partition from aqueous into organic phases in the environment (log P of 4.7-5.3). It is characterized by an average soil and sediment sorption coefficient (K_{oc}) of 8,498 and aquatic bioconcentration factor of 100-5,100 in fish. As a result of this high propensity for adsorption, its movement through and over the soil profile is limited. Surface runoff and erosion mobility are also low, and, in general, less than 0.3% of soil surface application. Chlorpyrifos is a degradable compound, and both abiotic and biotic transformation processes affect its degradation within environmental compartments (Racke 1993).

Endosulfan

Endosulfan is an organochlorine chemical which affects insects through contact and ingestion. It was banned in Argentina in 2011 by the National Service of Agrifood Health and Quality (SENASA) based on international and national recommendations which promote the progressive suspension of its use for pest control in crops. SENASA banned as of July 1, 2012, the import of the active ingredient in formulated products and from July 1, 2013, the development, formulation, marketing and use of products containing the active ingredient.

CHAPTER 4

Impacts on wetlands

Wetlands ecosystems in Argentina

Estimated wetlands area in Argentina is about 600,000 km² (Kandus *et al.* 2008), representing 21.5% of the national territory; an area that increases to 23% when considering salt lakes and deepwater bodies. Large wetland areas are mainly located in the humid north-eastern region of the country, associated with the Chaco-Pampeana Plain (e.g. *Bajos Submeridionales* and Flooding Pampa) and the rivers of La Plata Basin (Figure 6), while in the rest of the country wetlands are mainly located at particular sites, such as river valleys, depressions and at the foot of hills or mountains (Kandus *et al.* 2008).

Among the six main wetland regions of Argentina (Canevari *et al.* 1999; Figure 6), La Plata Basin and Chaco regions, in the northeast of the country, have a remarkable abundance of wetlands associated primarily

with the basins of the Paraguay, Pilcomayo, Bermejo, Paraná and Uruguay rivers. The Pampas region characterizes by a great variety of freshwater marshes and open lagoons, as well as by tidal marshes associated to particular estuarine ecosystems along the Atlantic coast. On the other hand, Patagonia and the Andes are arid regions where wetlands are more scarce and restricted in their distribution, playing an important role in providing water and forage for livestock and habitat for biodiversity.

As previously described, the distribution of soybean in Argentina mainly covers the central-eastern region of the country north of Patagonia (Figure 2), overlapping with the highest concentration and area of wetlands in the country (Figure 6). In particular, with wetlands located in the Chaco and Pampas regions; to a lesser extent with La Plata Basin and only marginally in the north of Patagonia.

Coastal Lagoon, San Cayetano, Buenos Aires.



Primary region

The primary region of soybean production (soybean core) (Figure 2) includes several lakes and wetlands systems associated to edaphic restrictions, such as flooding, limited drainage, etc. (Kandus *et al.* 2008) (Figure 6), comprising 10 wetland sites of conservation significance (Scott and Carbonell 1986), such as Laguna Mar Chiquita, Laguna Ludueña, Lagunas de Etruria, Bañados de Río Saladillo and Laguna La Margarita in Córdoba province and Laguna Melincué in Santa Fe province. In the north of Buenos Aires province some important wetlands systems are also found: the lake system Las Tunas-El Hinojo and wetlands in the municipality of 9 de Julio (Gomez and Toresani 1999).

In this region, two Ramsar Sites are also found¹: 1) Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita (Córdoba province) and 2) Humedal Laguna Melincué (Santa Fe province).

- 1) **Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita** (Córdoba province) is considered one of the most important wetlands in Argentina and the Chaco ecoregion, due to their richness of biodiversity, which includes a minimum of 30 waterbird species and 27 fish species that breed in the area. The predominant land use in the north and west of the area is extensive livestock grazing, while towards west, where soil characteristics are less constraining, there are incursions of the eastern Chaco forest so logging and charcoal production are practiced. Towards the southern and eastern limits land use is mixed: agriculture (soy, wheat, corn, sunflower, etc.), livestock (cattle) and dairy (on alfalfa and oat pasture). Additionally, there are urban areas and agro-industrial establishments.

Ramsar Site Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita.



Jorgelina Oddi



Marcelo Romano

Ramsar Site Laguna Melincué, Santa Fe.

- 2) **Humedal Laguna Melincué** (Santa Fe province) and its watershed represent one of the most important lentic systems in Santa Fe province. Immersed in a mainly agricultural and livestock region, this wetland is of regional and continental significance as it represents an important habitat for resident and migrant birds. The whole system forms an almost rectangular endorreic basin about 50 km wide, with the main area of open water exceeding 120 km²; hydrographically, is the final destination of water from wetlands and temporarily flooded areas. The terrestrial environments, dominated by pampean grasslands (“flechillar”: grassland community with two layers, the higher composed mainly of *Stipa* spp., *Paspalum* spp. and *Panicum* spp. and the lowest composed of many dicotyledons), have been almost completely converted to cropland and pasture of introduced species, while the aquatic environments and the terrestrial habitats most directly associated with them, are more intact given the inherent difficulties associated with converting them for agricultural production. Farming is undertaken on higher lands in the surroundings of the lagoon, mainly includes wheat, soybean, maize and sorghum. There is a trend in the region towards the increasing industrialization of agriculture, mostly towards soybean monocultures. Row crops production, however, is limited by altitudinal gradients, where conditions are increasingly unsuitable for agriculture at the lower extent of the elevation gradient near bodies of water and are generally utilized for livestock production².

Secondary region

The secondary region of soybean cultivation (Figura 2) includes numerous wetland systems (Kandus *et al.* 2008; Figure 6) of particular conservation interest and value. These include Bañados del Quirquincho (Salta province), Bajos Submeridionales (Santa Fe province),

¹ <http://www.ambiente.gov.ar>

² Ramsar Information Sheet Humedal Laguna Melincué: <http://www.ambiente.gov.ar>

Bañados de Figueroa (Santiago del Estero province), Salinas Grandes (shared by Catamarca, Córdoba, La Rioja and Santiago del Estero provinces), Guanacache and Rosario lake systems (shared by Mendoza, San Juan and San Luis provinces), Albufera Mar Chiquita, Western chain lakes and the wetlands of Chascomús (all in Buenos Aires province) (Scott y Carbonell 1986, Bucher y Chani 1999, Gómez y Toresani 1999).

Four Ramsar Sites are also found in this region³: 1) Bahía Samborombón, 2) Jaaukanigás, 3) Chaco wetlands and 4) Palmar Yatay. These systems, however, are only marginally located in areas of soybean production.

1) **Bahía Samborombón** (Buenos Aires province) extends over 180 km of coastline, being the largest mixohaline wetland in Argentina. It is an extensive intertidal zone, characterized by mudflats and salt and freshwater marshes. The tidal influence causes influxes of salt water while rivers, canals and streams contain freshwater, determining a complex hydrological system subjected to these flows, creating a variety of wetlands. One of the most important reasons for its designation as a Ramsar Site is its value as habitat for migratory birds, since it is estimated that more than 100,000 plovers and shorebirds (Charadriidae and Scolopacidae families) make use of the bay. It is also an important spawning area for commercially important fish species. Soil constraints such as salinity and flooding results in the area having a very low agricultural potential that has slowed the progress of soybean expansion in the region⁴.

2) **Jaaukanigaas** (Santa Fe province) covers part of the middle Parana River floodplain, consisting of a vast

complex of rivers, lakes, dry river beds, seasonally flooded grasslands, riparian forests and islands. The site is characterized by a remarkable aquatic biodiversity, with around 300 fish species that are key to the regional economy, since 50% of the population of the area is depends upon fishing as their source of income. Soils bordering the site are mostly well drained and suitable for agriculture, covering over 45,000 ha, where soybean, sugarcane, sunflower, cotton and wheat and cultivated⁵.

3) **Humedales Chaco** (Chaco province) are generally oriented in a northeast-southwest direction along the axis of the Parana and Paraguay rivers. Within the biogeographic region of eastern Humid Chaco, includes the floodplains of the Parana and Paraguay rivers, plus numerous tributaries like the Bermejo, Negro and Salado. Through this network of tributaries an active flow of floral and faunal elements occurs. This system serves as a refuge for micro and mesofauna associated with aquatic environments during periods of severe drought. Within the site soybean crops are grown on a small scale, but it supports about 5,000 ha of intensive soybean cultivation in its surroundings⁶.

4) **Palmar Yatay** (Entre Ríos province) is located at the boundary between Pampa and Espinal ecoregions and subsequently it shares floral and faunal components of both regions. The principal wetland types are the gallery forests along the banks of rivers and streams, flooded depressions and temporary ponds formed during the rainy season. These wetlands are embedded in a matrix of crops and forest environments and palm savannas and xerophytic grassland⁷.



Daniel E. Blanco

Ramsar Site Bahía Samborombón, Buenos Aires.

Impacts on wetlands

The most significant direct effects of the expansion of soybean cultivation are the loss and degradation of natural ecosystems, with a high rate of deforestation in northern Argentina (Grau *et al.* 2005, Altieri and Pengue 2006). The loss of natural ecosystems has caused not only the consequent loss of biodiversity, but also soil erosion and salinization, increasing the water table and risk of flooding due to higher runoff (Jobággi and Santoni 2006). These processes can affect wetlands in areas near or even distant from the source of the problem, sometimes disturbing key wetland systems and Ramsar Sites.

³ <http://www.ambiente.gov.ar>

^{4, 5, 6 y 7} Ramsar Information Sheets: <http://www.ambiente.gov.ar>

In the Bahía Samborombón Ramsar Site (Buenos Aires) are the mouths of the Salado and Samborombón rivers, as well as numerous canals transporting agrochemicals and contaminants from inland agricultural zones which ultimately affect the integrity of the ecosystem⁸.

In many areas, agricultural expansion has also occurred to the detriment of grazing and other agricultural crops, leading to landscape homogenization and the loss of biodiversity associated with agricultural mosaics or mixed land uses (Zaccagnini and Calamari 2001). Reduced agricultural diversity is also an indicator of environmental degradation, as not only biodiversity and ecological processes associated to heterogenic landscapes are negatively affected, but also diversity of crops (Altieri 1999, Thrupp 2000, Weyland *et al.* 2008).

Soil and water contamination by agrochemicals and direct and indirect effects on biodiversity are some of the negative impacts of soybean monoculture. One of the direct consequences of large-scale agriculture is aerial application of herbicides which results in the treatment of margin fields and semi-natural areas of agricultural landscape (CONICET 2009). Unfortunately, it is very difficult to quantify the effects of chemical products on natural ecosystems. One reason is insufficient funding for field and laboratory research, and also much of the research is over the short-term and can't be reliably generalized or extrapolated over the long-term. Following are some of the most relevant studies conducted mainly in Argentina in relation to impacts of soybean cultivation on wetland ecosystems and their resources.

Wetland distribution and abundance

A process of wetland loss as a result of agricultural expansion, particularly soybean production, has occurred throughout the primary region, particularly in the southeast of Córdoba province (Quiros *et al.*, 2005, P. Brandolin *et al.* 2012, F. Salvucci pers. comm.).

The southeast of Córdoba was characterized by the abundance of lakes where the predominant economic activity was grazing, mainly for milk production. In 2000 began the construction of large-scale pipelines designed to drain wetlands (P. Brandolin pers. comm.), resulting in the loss of 12% of the region lakes and a 14.7% decrease in flooded areas; while in the western sector of the region, wetland loss reached 42% (Brandolin *et al.* 2012).

An emblematic case is the Bañados del Río Saladillo, one of the most biodiverse sites in Córdoba province, where 69% of wetlands surface and 19.6% of the lagoons were lost (Brandolin *et al.* 2012). This led to the loss of the original connectivity among wetlands and lower species richness and abundance. An important indirect impact is salinisation of surrounding fields by windblown salts and inadequate use of agrochemicals.

Wetland ecosystems located in the southwest of the province of Buenos Aires, within the secondary region of soybean production, are also being altered (Booman *et al.* 2012). Using a time series of satellite images (1998-2006) for the Mar Chiquita watershed, this authors found an alarming degree of modification, with almost 200 small wetlands (1,800m² of total area) traversed by channels for drainage and 17% of the streams already channelized.

Loss of Laguna Larga

The Laguna Larga or Laguna de Cachicoya, in Río Segundo, province of Córdoba, was originally 110 ha in area, and supported important social and recreational activities such as fishing, boating, and other aquatic activities. Nowadays, as a result of drainage for agricultural purposes, the lagoon has been reduced to three canals, and represents a paradigm of wetland loss in the province of Córdoba (Salvucci, pers. comm.).



Laguna Larga, Córdoba.

Fernando Salvucci

⁸ Bahía Samborombón Ramsar Information Sheet: <http://www.ambiente.gov.ar>

Available information about the impacts of soybean expansion on wetlands in the secondary region is scarce. In the wetlands of *Bajos Submeridionales* (Santa Fe province), the main economic activity is cattle ranching on natural grasslands, while environmental characteristics of the region naturally limits the expansion of the agricultural frontier. Although this wetland system is not in the area of primary production, indirect effects from soybean cultivation in surrounding areas may affect it, since this system serves as an immense repository for water, and is of great importance in the dynamics of the Salado River, since in times of abundant precipitation it overflows there. However, virtually no studies on the effects generated by agricultural activity on the functioning of this wetland system have been undertaken (FVSA and FUNDAPAZ 2007).

Recently, soybean production has been aided through embankment construction in areas such as the delta of the Parana River. These embankments artificially replicate terrestrial conditions for soybean cultivation and directly impact on loss of hydrological functions and ecosystem services provided by wetlands (Blanco and Méndez 2010).

An important impact associated with the loss and degradation of wetlands is the emission of GHG. Biofuels have been promoted as a promising alternative to mitigate climate change. Most prior studies have found that substituting gasoline with biofuels will reduce GHG because biofuels capture carbon through the growth of feedstock (Searchinger *et al.* 2008). However, many reports question the rationale that biofuels substantially reduce carbon emissions (Koh and Ghazoul 2008) and point out the significant biases in estimating GHG balances of biofuels stemming from modeling choices about system definition and boundaries, functional unit, reference systems and allocation methods (Gnansounou *et al.* 2009). Most of the analyses have failed to count the carbon emissions that occur as farmers worldwide respond to higher prices and convert forest, wetlands and grassland to new cropland to replace the grain (or cropland) diverted to biofuels (Searchinger *et al.* 2008). Regarding soybean, its expansion has contributed to deforestation either directly (soybean planting in natural habitats) or indirectly (crop substitution), in both cases contributing to the expansion of the agricultural frontier (Catacora-Vargas *et al.* 2012).

According to Panichelli *et al.* (2009), land provision through deforestation for soybean cultivation is the most impacting factor of the biodiesel pathway for the global warming potential. Regarding wetlands, there are no studies in Argentina analyzing the balance of GHG by its conversion to agricultural land. However, wetland conversion entails the risk of the emission of high levels of GHG from the carbon they store⁹ (Ramsar 2008). Furthermore, as a result of this advance of the

agricultural frontier (Ortega and Azcuy Ameghino 2009) livestock is being moved to marginal lands, with serious consequences over the balance of GHG due to practices of burning grasslands to improve forage. Fires in dry conditions generate losses of carbon and nitrogen in soils, since they emit large amounts of carbon dioxide into the atmosphere. For grassland islands of the Delta of Parana river it was estimated that, given the productivity of their reeds, it would require around 11 years to replenish the carbon dioxide emitted by fires occurred in 2008 (Kandus *et al.* 2009).

Ecosystem services

The alteration and, eventually, the loss of wetlands are usually accompanied by the loss of ecosystem functions that provide tangible and intangible benefits of relevance to society (ecosystem services) (Ansink *et al.* 2008; Kandus *et al.* 2011). Some examples of ecosystem services wetlands offer are: storage of organic carbon in the soil, moderating variations in temperature, sources of water vapor for rainfall, reducing the impact of storm surges and navigation, reducing effect of flooding and erosion by attenuating peak current velocity, increasing surplus water storage, retention and fixation of sediment and pollutants, regulation of soil salinity, freshwater for human consumption, supply water and fodder for extensive cattle production, habitats critical to maintaining viable populations of species with commercial and conservation interest, and providing livelihood for local people.

There is a large and growing consensus worldwide regarding the critical economic, social and environmental importance of wetland ecosystems despite representing only 5% of the land surface. Costanza *et al.* (1997) estimated that the overall total value of services provided by coastal and inland wetlands amounted to 17.5 trillion dollars per year, representing 52% of the total value of services provided by all ecosystems on the planet. In turn, during the VIII Conference of the Ramsar Contracting Parties in Valencia during 2002, it was recognized that wetlands play an important role in the sustainability of agricultural activities by providing protection from floods and storms, maintaining water for irrigation, and providing habitat for species that make up significant resources to local communities (Kandus *et al.* 2011).

Within the indirect effects of soybean monocultures are those related to shifting of livestock to marginal lands. In the case of the delta of the Parana River, loss of vegetative cover due to frequent fires set to improve forage quality implies a decrease in flood resistance until the vegetation recovers. The consequence, at least temporarily, is the loss of one of the principal functions of wetlands in the region, via their capacity to buffer hydraulic conditions during flood events.

⁹ <http://www.wetlands.org>

Expansion of soybean cultivation over the Parana Delta region

Parana Delta soils are frequently flooded and poorly drained so their productivity is considered low to very low, and are classified as not suitable for agricultural activities but exclusively fit for uses such as grazing, forestry and wildlife conservation (Gómez *et al.* 2006, Engler *et al.* 2008, Goveto *et al.* (comp.) 2008). Given these restrictions, most of the productive projects need to build dikes and embankments in order to avoid water entrance during river rises (Blanco and Méndez 2010). In a survey during 2010, 875 km of dikes and 202 embanked areas were registered in the Parana Delta region, representing 11.6% of the total area (Kandus and Minotti 2010). The same study reported that 59% of these embankments are used for willow and poplar forestry (forestry core) and that 14% are for agricultural and livestock uses, including soy production.



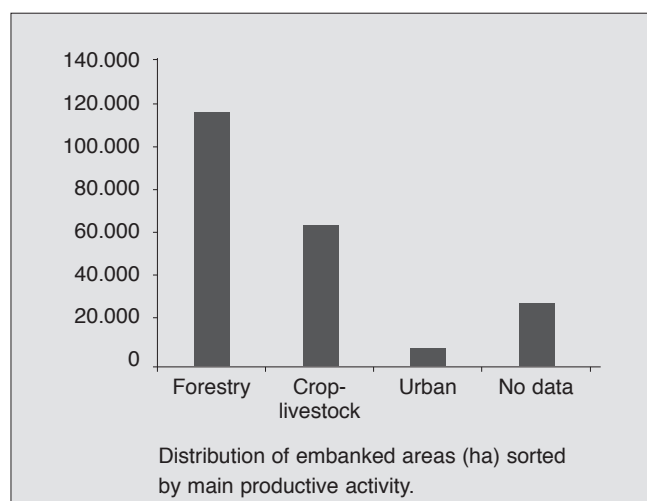
Rubén D. Quintana

Embankment for agriculture in the Parana Delta.

Since the controversial 12,000 ha embankment illegally built facing Villa Constitución in the Santa Fe province in 2007, where nowadays wheat and soy are cultivated (D. Rodríguez pers. comm.), the trend has been an increase in the embanked area in many Delta towns. These areas are used for agriculture in general and particularly soybean production, including Barbé island facing San Pedro (E. Sierra pers. comm.), Lechiguanas island (E. Sierra pers. comm.) and the south of the Entre Ríos Delta (R. Quintana pers. comm.).

In general, large scale soybean cultivation in the Delta region leads to the *pampeanización*¹⁰ of this region as well as to streams' obstruction and use of agrochemicals. Some of the impacts associated with soybean cultivation in the Parana Delta are (Blanco and Méndez 2010):

- change in the hydrological regime characteristic of this system as a result of embankments,
- drainage of the islands for agriculture, with the subsequent complete elimination of the lowlands and scrublands located at the center of the islands,
- wetlands connectivity reduced, eliminating fishes' possibility of using different water bodies, directly affecting fisheries,
- water courses alteration, detrimental to local people displacement and livelihoods,
- loss and replacement of the original plant cover, drastically altering the ecosystem, and the decrease, direct or indirect, of local biodiversity,
- direct impact on the local livelihoods, undermining traditional productive activities such as fishing, apiculture, islands farming or native plants recollection,
- water contamination by agrochemicals, and
- agrochemicals direct effect over apiculture by beehives death, as well as indirect, because honey production is based on native flora adapted to this wetlands dynamic.



¹⁰ *Pampeanización* refers to a process where an area which does not correspond to the pampas is transformed in such a way that ends having some characteristics of this ecoregion.

Soil health

The term soil health refers to the continuing ability of the soil to function as a living system in natural balance with the environment and land use, sustaining biological productivity, maintaining air and water quality, and promoting plants, animals and people health. Soil health is nothing new, but the names used, the approach given as well as studies and assessments related, have changed and been perfected over time. Since the beginning of the last century, there have been warnings for the need to protect organic matter and soil integrity so that they are not washed away or “blown away by the wind”¹¹. With *agriculturization*, mainly in the pampas region, this risk has intensified so that the degradation of this natural resource is today causing serious problems of a different nature such as loss of nutrients, acidification, erosion, compaction and contamination (Culasso and De Carli 2001).

A production system without replenishment of nutrients which lacks from a natural mechanism for replenishment is opposed to the concept of sustainability developed in recent decades, as it would lead to a growing impoverishment of soil nutrients, progressively limiting yields up to the extreme situation where plant growth would be prevented. Some local history illustrates this regional limitation for alfalfa and soybeans in particular (Vázquez 2005; Cruzate and Casas 2012). The total removal of nutrients during the 2010/2011 growing season for the most important crops (soybeans, wheat, corn, sunflower, sorghum and rice) in relation to the 2006/07 growing season increased by 11% due to the increase in production, increased plantings and higher yields (Cruzate and Casas 2012). Within the province of Buenos Aires, the highest removal rates of nutrients occurred in the primary production area (north of Buenos Aires, south of Santa Fe and southeast of Córdoba) and in the center and north of the Córdoba province. Soy is the crop with the greatest extraction of nutrients per ton of grain produced, expressed as nitrogen, potassium, calcium and sulfur, and ranking second in phosphorus, slightly surpassed by sunflower. Soybean is the largest extractor of nutrients when measured in tons during the 2006/07 growing season and it is estimated that only 34% of the total nutrients extracted are replenished (Cruzate and Casas 2009).

The lack of nutrient replenishment (approximately 30% of the total extracted in the case of soybean) and the high level of basis extraction by crops are increasing soils susceptibility to acidification (Cruzate and Casas 2003). In Argiudoll, Rafaela Series soils, those under continuous cultivation for over 20 years had a pH=5.6, compared to virgin topsoil with a pH=6.7 (Panigatti 1976). This increased acidity corresponds to lower values of calcium and magnesium mainly, but not potassium, which is enhanced, attributable to its recycling from crop stubble.

The intensification of agricultural production without the appropriate rotations, especially in recent years, has led

to decreasing soil quality (Figures 7A and B). Soybean stubble provides little nitrogen, decomposes rapidly, and leaves very little soil coverage. Consequently, organic matter incorporation is very low, so soil structure tends to become unstable and dense. Soybean monoculture cannot counter the structural densification from the cause mentioned and also because the system generates fewer roots and biopores compared to grasses, such as corn, sorghum and wheat. After several years, soybean monoculture soils tend to become denser forming a “floor” or hardened layers which in turn limit the growth of roots and in some cases determine their change in direction (Casas 2006).

In San Luis province, water erosion has been studied in different environments and among the determining factors found are anthropogenic changes in the central-west part of the province with plowing and compacted soil layers. This increases soil density, decreases the number of macropores, decreases infiltration and increases runoff, which magnifies erosion problems. Casagrande *et al.* (2009) mention that small changes in organic matter content alter the apparent maximum density and the susceptibility to compaction. The AMD in virgin soil with 3.7% organic matter reaches 1.1 g/cm³ while similar soil with 2.1% organic matter exceed 1.4 g/cm³, which means a significant reduction in water collection, gas exchange, biological activity, and, above all, increased erosion. Soybean monocultures with very small contribution of stubble may be an important factor in soil degradation for these reasons.

Soil salinity is a dynamic spatial, both horizontally and vertically, and temporal attribute and is modified by field management, crop type, changes in vegetation, changes in the level of the water table and erratic rainfall. In low areas or gullies, where the fluctuating water table is near soil surface, saline and/or alkaline soils are present with vegetation adapted to large extreme variations in water levels (drought, flood). In Santa Fe and Córdoba provinces various periods with excessive fluctuations in water availability have occurred, leaving soils -after disappearance of surface water- with the water table close to the surface, so salts are transported by capillarity to the surface horizon. Some of these salts are removed by wind, but also can be carried to greater soil depths by rain or remain in a dynamic state near soil surface. Salinisation is exacerbated by lack of vegetation in worked plots, eliminating wet meadows which utilize water from various soil horizons and from the water table, reducing or eliminating capillary action and subsequent superficial salinisation (L.A. Cerana and J.L. Panigatti, pers. comm.). Pasture elimination, maintenance of little or no vegetative cover, increased temperature as well as compaction by machinery or livestock, enhances capillary action in the soil and increases salinisation (Imbellone *et al.* 2010).

There are also indirect effects from the expansion of the agricultural frontier driven by soybean monoculture upon marginal soils, such as shifting livestock to vulnerable

¹¹ www.inta.gov.ar

regions (Ortega and Azcuy Ameghino 2009), as the islands of the Parana Delta where pasture is burned to improve grazing conditions. Studies in this area showed that fire significantly affected soil surface layers, characterized by high content of organic matter and in contact with a large quantity of vegetative matter in a low state of decomposition. Changes in soil pH and electrical conductivity also correspond to changes caused by intense fire, with significant impacts, such as potential invasion by exotic species. Under these conditions, soil surface layers are reduced to ashes and exposed to erosion by rain, rising river levels or tidal surges (Kandus *et al.* 2009).

Following application, most of the pesticides reach the soil either after direct application or after foliage wash-off. As a major interface between other environmental compartments, soil plays a preponderant buffering role in the fate of pesticides. Apart from volatilization, the main processes controlling the fate of pesticides in soils are retention by soil particles and degradation, both biotic and abiotic. These coupled bio-physico-chemical processes can lead to a transitory or permanent accumulation of pesticides in soils or, on the contrary, to their elimination from the environment. They determine the pesticide concentration in the soil solution, and have a large influence on pesticide transfer towards ground or

surface waters and on their ecotoxicological impacts on soil organisms as well (Chaplain *et al.* 2011).

As previously discussed, the principal herbicide used in soybean cultivation is glyphosate. In general, glyphosate is considered to be strongly absorbed by soil and therefore considered to be almost immobile and unsusceptible to transport. However, experimental findings of mobility and leaching of glyphosate are discussed with respect to current observations and knowledge about the leaching risk of highly adsorbing substances (Vereecken 2005).

There is insufficient information about the effect of agrochemicals on physical, chemical and biological aspects of soil, attributable to the characteristics of chemicals used in soybean production. The high content of fine material in soils favors soybean production for its high exchange capacity, while promoting the partial or total neutralization of most of the molecules and ions applied to crops. The repeated cultivation of soybean leads to a loss of soil organic matter (about 1% of the total or >20% relative), coverage (>60%), biological activity, structural stability (> 40%) and some nutrients such as available P (10-40%). Table 1 summarizes main processes studies and the results obtained in studies conducted in Argentina on impacts of agrochemicals used in soybeans over soil resources.

Soybeans over National Route N° 12, Entre Ríos.



Rubén D. Quintana

Table 1.-		
Main studies related to impacts over soil of agrochemicals used in soybean cultivation conducted in Argentina.		
Process studied	Main results	Bibliographic reference
Sorptive mechanisms of glyphosate (adsorption and desorption)	Typical Argiudol and Acuic Argiudol showed moderate to high glyphosate adsorption, being isopropilamonium salt more adsorbed than the acid glyphosate form. Desorption values between 51% and 69% were determined for both products by in-lab assays.	Maitre <i>et al.</i> (2008)
Glyphosate adsorption	Most glyphosate adsorption by iron oxides and clay soils, suggests that the formation of complexes can affect the bioavailability and degradation in soil and water.	Pessagno <i>et al.</i> (2008)
Surface runoff and nutrient and glyphosate loss	For tilled soils or soils with low coverage, runoff was six times higher than those recorded for pastures. Runoff is not related to coverage of crop stubble, but primarily with the time soils are used for cropping. Authors concluded that the greater coverage and content of organic matter in top 5 cm of soil reduce nutrient losses and decrease the risk of glyphosate contamination.	Sasal <i>et al.</i> (2008)
Runoff	In studies of runoff plots, authors found little loss of N and low levels of glyphosate and AMPA in the runoff water, being less than 0.03% of the amount applied to crops. It was suggested that the peaks of high concentration of glyphosate and AMPA after major rainfall indicate the necessity of analyzing issues related to the timing and conditions of herbicide use.	Sasal <i>et al.</i> (2010)
Glyphosate transport in soil profile	In well structured clay soils glyphosate was leached in concentrations above the upper limit of pesticides allowed by the European Union for drinking water. Average losses were 39 g/ha of glyphosate for an application of 8 l/ha, suggesting a potential risk of groundwater contamination.	Costa <i>et al.</i> (2010)

On the extensive plains of the Argentine pampas and sectors of the Chaco, the original predominant material soil material is loess. This material, transported by wind, varies in composition from heavy to finer material along a southwest to northeast gradient. The soils of eastern Argentina have more clay and exchange capacity to adsorb ions and complex molecules. From south to north there is a gradient of increasing temperature and soils towards the south have higher content of organic matter, meaning that moving northward soils are more susceptible to degradation due to poor management. In general, the southeast soils have a greater capacity to immobilize chemicals (molecules, metabolites and adjuvants) with decreasing capacities towards the west and northwest. A similar pattern is evident in the loss of organic matter, structural stability and irreversible degradation such as wind erosion.

Water quality and availability

In intensively cultivated regions, wetlands are severely affected by the input of agrochemicals such as pesticides and nutrients, which often enter wetlands binded to soil particles eroded from agricultural land. Runoff is one of the major sources of non-point pesticide contamination of streams (Jergentz *et al.* 2005).

In the principal region of soybean production, farmers use minimal tillage practices to prevent soil loss since the Rolling Pampa is characterized by severe soil damage due to water erosion. During the main period for pesticide application, from November to March, short and heavy rainfalls are very common in the region and

cause intensive surface runoff. Together with suspended soil, pesticides are transported to non-target sites such as aquatic ecosystems (Jergentz *et al.* 2005).

In 2009, a group of researchers from the CONICET conducted an exhaustive review on the impacts of glyphosate, its metabolite (AMPA) and the surfactant (POEA) over the environment, human health and ecosystems (CONICET 2009). Regarding the fate of glyphosate and its metabolites in surface water, the report concluded that glyphosate and its salts are highly soluble in water, they bind strongly and rapidly to sediments and particulates, especially in shallow and calm water or those carrying large loads of particulate matter, which removes glyphosate from the water column.

However, in streams close to soybean production areas located at the Pergamino-Arrecifes system (north of Buenos Aires), Peruzzo *et al.* (2008) found glyphosate in surface waters after nearby application as a consequence of drift and through runoff, particularly after a raining event. Thus, depending on the suspended solids and microbial activity, glyphosate can be carried several miles downstream. With proper application, leaching into groundwater or runoff into surface waters is not expected.

The two main pathways for chemicals dissipation in water are microbial degradation and binding to sediments. Glyphosate does not degrade easily in sterile water, but in the presence of microflora (bacteria and fungi) it decomposes to AMPA and eventually to carbon dioxide. Other metabolic pathways have been reported, including subsequent degradation of AMPA to inorganic phosphate and methylamine and then to formaldehyde, and by the pathway of sarcosine to glycine. None of these products are considered to be herbicides and are not expected to be highly toxic to aquatic organisms at

concentrations that would arise from the typical use of glyphosate. Photodegradation also occurs under field conditions with sufficient penetration of ultraviolet light (CONICET 2009).

Two Canadian studies cited by CONICET report found that the persistence of glyphosate in water can last between 12 and 60 days after direct application. In the United States, glyphosate residues were found in lake sediments one year after direct application. It has been found that AMPA is more persistent than glyphosate and can persist between 199 and 959 days.

As it was mentioned before the Endosulfan was prohibited in Argentina in 2011, but it has been the second most commonly used insecticide on soybean crop. It is a water-insoluble compound that can be decomposed by photolysis, hydrolysis and biodegradation. In water it has a half life of 35 to 150 days and has been detected in deep groundwater in concentrations ranging from 0.008 to 0.053 ppm up to 20 days after application (Romeo and Quijano 2000).

Table 2.-		Main studies related to impacts over water of agrochemicals used in soybean cultivation conducted in Argentina.
Process studied	Main results	Bibliographic reference
Detection of glyphosate in water bodies of the Pergamino- Arrecifes system	Glyphosate concentrations ranged from 0.10 to 0.70 mg/l in water and sediments in streams located near soybean fields, with significant increases in concentration following precipitation events. Sediment samples showed an increase in glyphosate concentration near cultivated areas following applications.	Peruzzo <i>et al.</i> (2008)
Glyphosate losses determination by drainage and runoff in soil samples from Pergamino (Buenos Aires province) and Paraná (Entre Ríos province)	Glyphosate applied before sowing was detected in drainage water and the peaks of glyphosate concentrations in drainage and runoff water were registered after important rain events ($\sim 10 \mu\text{g L}^{-1}$). However, the amount of glyphosate lost throughout the study period was lower than 0.03 and 0.6% of the amounts applied, respectively.	Sasal <i>et al.</i> (2010)
Levels of cypermethrin in streams of the Pergamino- Arrecifes system	It was found that pesticides enter the stream. Cypermethrin concentrations peaked in relation to spraying and rainfall events, quickly decreasing to undetectable levels in less than a week during inter-application periods. The lack of effects was in correspondence with the buffering capacity of natural waters, reducing cypermethrin toxicity by up to one order of magnitude. Protective capacity was mainly associated with the organic matter content.	Carrquiriborde <i>et al.</i> (2007)
Levels of cypermethrin in a river of the Pergamino- Arrecifes system	Cypermethrin was detected in water and sediments. Spraying events and rainfall after spraying were associated with the presence of pesticides in all samples.	Marino and Ronco (2005)
Levels of endosulfan, cypermethrin and chlorpyrifos in streams tributaries of the Pergamino- Arrecifes system	These insecticides were detected in sediments, as suspended particles in water.	Jergentz <i>et al.</i> (2005)

Another aspect from soybean production that needs to be addressed is the risk of wetland eutrophication caused by inorganic fertilizers. A mass balance of nitrogen for soybean demonstrates that increased nitrogen inputs from biological fixation do not compensate for losses due to seed export, such that most areas under soybean cultivation are currently experiencing a substantive net loss of nitrogen. In addition, other crops that are currently being fertilized still show a net loss of nitrogen also due to the effect of primary exports from these agroecosystems (Austin *et al.* 2006). Given this, it would be expected that water bodies within areas of soybean production are at risk of nutrient contamination and eutrophication. However, studies of eutrophication due to soybean production are scarce.

Vera *et al.* (2010) investigated the effects of Roundup Ready® (glyphosate formulation) on the periphyton colonization of experimentally mesocosms. 8mg/l were of active ingredient added; glyphosate half-life estimation was of 4.2 days. Total phosphorus significantly increased due to Roundup degradation, favoring eutrophication process. Due to mortality of algae, mainly diatoms, proliferation of cyanobacteria was favored. Authors concluded that glyphosate produced a long term shift in the typology of mesocosms, “clear” turning to “turbid”, which is consistent with the regional trend in shallow lakes in the Pampa Plain of Argentina. Favoring cyanobacteria development, along with cyanotoxins, may lead to other indirect problems such as bad odor, native wildlife death, etc.

One of glyphosate application techniques includes aerial pulverizations. Air contamination by spraying equipments, whether aerial or terrestrial, may transport chemicals to towns or cities. Moreover, wetlands and native vegetation patches immersed in an agricultural matrix are highly vulnerable to sprayings. Actions can minimize contamination risk, such as considering climate factors or legislation referred to security areas banned for spraying, in case this information exists. Even considering these restrictions, once the atmosphere incorporates the agrotoxics, they can be transported far away from the application point.

Capybara in northeast Argentina wetlands.



Rubén D. Quintana

The effects on wetlands water quality from agrochemicals used in soybean production in Argentina are poorly studied. One of the main reasons is lack of funding for field studies and scarcity of tools and techniques needed to detect chemicals in water. However, Table 2 highlights key research findings for areas with intensive soybean cultivation.

Fauna

There are different groups of organisms designated as “sentinels” for their role in warning of the presence of toxins in the environment, either by developing various detoxification enzymes or by changes in behavior. In Argentina there is a body of evidence at different levels of organization related to biological indicators regarding the effect of agrochemicals on mainly aquatic organisms. Table 3 summarizes some of the effects observed in these animals. It is noteworthy that the reproductive period of many organisms which breed in the spring and summer overlaps with the period of herbicide application. Furthermore, in many cases this can be longer, such as anurans where larval development may extend for long periods.



Rubén D. Quintana

Greater Rhea, a classic species from the Pampean grassland displaced by agriculture.



Rubén D. Quintana

Herons and storks.

Table 3.-		Main conclusions of local authors on the effects of agrochemicals over sentinel organisms.	
Group of organisms	Agrochemical studied	Effects	Bibliographic reference
Amphibians	cypermethrin	Alters gregarious behavior patterns of larval amphibians that facilitate feeding and increase depredation of intoxicated larvae.	Lajmanovich and Peltzer (2004)
Amphibians	cypermethrin	Apoptosis of amphibian nerve cells.	Izaguirre <i>et al.</i> (2000)
Fish	cypermethrin	No effect of mortality or alterations on behavior of resident fish species. No changes in population parameters (size structure, abundance, survival, etc.).	Carriquiriborde <i>et al.</i> (2007)
Fish	cypermethrin	Survival of fish (<i>Odontesthes bonariensis</i>) decreased at higher temperatures and cypermethrin concentrations, and growth was significantly increased by cypermethrin exposure. Cypermethrin did not cause changes in sex ratios.	Carriquiriborde <i>et al.</i> (2009)
Crustaceans	cypermethrin, endosulfan, chlorpyrifos	With peak insecticide contamination of 64 mg/kg Chl, 100% mortality was observed in <i>Hyalella curvispina</i> and <i>Macrobrachium borelli</i>	Jergentz <i>et al.</i> (2004)
Fish	endosulfan	Reduced mobility	Ballesteros <i>et al.</i> (2009)
Amphibians	glyphosate cypermethrin endosulfan chlorpyrifos	Increased activity of enzymes related to amphibian detoxification. Differences were found in body length and weight	Brodeur <i>et al.</i> (2011)

Flora

Since riparian and aquatic communities are essential for maintaining wetlands habitat quality in agro-ecosystems, many studies have investigated the effects of pesticides on these habitats. Martin *et al.* (2003) studied the riparian vegetation within a section of a stream located between two soybean plots in the pampas, finding that green biomass, species richness, cover and abundance of species vary in relation to herbicide applications in a single harvest cycle. However, in a laboratory study, the same authors observed significant negative effects on total chlorophyll content. Laboratory tests found adverse effects on *Lemnaceae* at 1.3 mg/l and in *Hidrocariaceae* to 20.1 mg/l of formulated herbicide (glyphosate and facilitators). Martin and Ronco (2006) found higher toxicity to seeds of *Lactuca sativa* by formulated herbicide (glyphosate and facilitators). The increased toxicity may be due to facilitation of herbicide entrance into tissues provided by the other ingredients; however, toxicity tests comparing the effects of glyphosate sprayed and in solution on *Lemma minor* (floating macrophyte) found that plant growth was relatively insensitive to glyphosate dissolved in the culture medium and instead the plants died when applied as an aerosol (Lockhart *et al.* 1989).

Social development and food security

More than 150,000 small and medium farmers have disappeared during the past 20 years unable to adapt to the macroeconomic climate related to soybean monoculture and the associated high taxes, high input costs and dependence on international markets, which are outside the control of some production sectors (Martínez 2010 and pers. comm. 2012). The number of rural enterprises increased from 471,000 in 1947 to 538,000 in 1969, which brought the passage of legislation to prevent subdivision of land that leads to decreasing property size. Between 2002 and 2008 the number of rural enterprises was reduced by 60,000 (333,000 in 2002 and 273,000 in 2008). These developments should bring out a new discussion and regulations in order to reduce the socio-economic effects on the most vulnerable sectors. About 400,000 people dependent on agriculture, not only for food but to maintain their cultural identity, have migrated to big cities or remain in poverty on their own land. Related to this new system governed by soybean monopoly, it has been referred to as a type of farming without farmers, with short-term profitability and irrational use of resources which overshadows their sustainable use.

From a social perspective, agriculture intensification has led to a reduction in the rural labor force. At present, a *pool de siembra* producing soybeans only employs 1.6 hours per person per hectare per year, which is on average four times less than the labor employed 12 years ago (Bragachini *et al.* 2011). While this may free up human capital for work in other economic sectors, many small and medium farmers have not been successful in finding new working areas. For many, livelihoods have been restricted to living off the rent from their lands, or to work for others. Furthermore, changes

in land management have led to a rural exodus from the countryside and small rural towns towards the cities in search of better economic opportunities. These changes in ownership and production are leading to the erosion of rural cultures and the loss of traditional knowledge and livelihoods (Pagliaricci and Angel 2012; <http://responde.org.ar/sitio>). The spread of soybean farming will also have impacts on food sovereignty, as soybeans are cultivated at the expense of traditional livestock and crop production (Tomei and Upham 2009). These true migrations tended to simplify land use, landscape homogenization, biodiversity loss and, above all, the loss of wages and the migration of local labor force. The labor required for various production systems compared with soybeans are highlighted below (Pagliaricci and Angel 2012):

Table 4.- Labor Wages compared for different production systems.	
Production	Wages/ha/year
Soybean	1
Dairy	9
Sweet potatoes	20
Roses	75
Citrus (oranges)	60
Peaches	80
Nursery stock	150-200
Figs	300

On the other hand, the advance of the agricultural frontier driven by soybean may generate indirect impacts which affect livelihoods and food security of local communities which depend on wetlands. A clear example occurred in the Parana Delta region, where, as a result of soybean expansion in the pampas, displaced livestock production and some agriculture were relocated. This process was accompanied by concentration of land holdings, wetland deterioration and loss of their goods and services, excluding and/or marginalizing many people in the region whose livelihoods depend on wetland resources.

Summary of impacts

Based upon the information analyzed here, following we present a summary of the main negative impacts of soybean production in Argentina (Table 5).

Wetlands distribution and abundance

The expansion of soybean cultivation has resulted in moderate to high impacts on wetlands for some areas of

the soybean production region, mainly due to land reclamation for agricultural use. This is evident in the southeast of Córdoba province and around the Albufera Mar Chiquita in the province of Buenos Aires, with up to 40% reduction in the area of wetlands. In the case of the Bañados de Saladillo reclamation resulted in system degradation and connectivity loss. Biodiversity loss in wetlands has been reported in southern Córdoba and it is possible that the same process is happening in other sectors of the soybean production region. In other cases, it has been documented that wetlands loss has led to direct loss of ecosystem services of local and regional importance. In the case of the Parana Delta, farming intensification as a direct consequence of the expansion of soybean, affected traditional farming practices, resulting in the large fires in 2008, which burned 207,000 ha. In this case, although it has not been quantified, it can be assumed that the amount of GHG emitted into the atmosphere is not negligible.

Soil health

In areas where soybean cultivation predominates, soil properties, natural vegetation and water levels of wetlands are altered, with particular impact on soil erosion and associated deposition in low areas, streams or other runoff pathways. The loss of ground cover due to reduced crop stubble, soil compaction, accelerated extraction of certain nutrients and the expansion of row crop agriculture to areas of low suitability, results in biodiversity loss and changes in water balance. Several of these factors can be avoided, remedied or minimized by the application of available technologies, so major concern and actions must be focused on prevention and control of soil erosion by water and wind, as they are irreversible but avoidable losses.

Water quality and availability

Impact of soybean cultivation on wetland water quality and availability is indirect and low, primarily because the agrochemicals commonly used have low persistence in water and/or are neutralized by sediments or suspended particles. Also, if soybean production is undertaken with responsible practices, the potential effects are minimal. However, due to the characteristics of the large-scale expansion and adoption of soybean production in Argentina, which increases the potential for the erosion of soil resources, there is an increased likelihood for

wetland contamination. On the other hand, the little research addressing eutrophication of wetlands show a significant negative impact and is a topic which needs to be taken into account in future studies. As discussed, expansion and intensification of soybean production is likely to continue, and given the nation's political priorities and the ineffective enforcement of environmental regulations, future negative effects of soybean cultivation on water quality and availability will likely increase.

Flora and fauna

According to the evidence presented here, there are direct and indirect effects on flora and fauna associated with aquatic environments of close proximity to areas of soybean production. These effects are mainly produced by agrochemicals in varying concentrations, which affect organisms according to taxa and stage of development. Reduced populations of many aquatic species, as well as physiological and behavioral changes, affect the trophic food chain, causing loss of interactions between organisms and disrupting biological processes which are vital to ecosystem functioning and population dynamics (both plant-plant, plant-microorganisms, plant-animal, animal-animal, animal-ecosystem, ecosystem-microorganisms, etc.), ultimately affecting potential goods and services for agricultural production and human welfare.

Social development and food security

The modernization of agriculture worldwide has resulted in the reduction of rural population. In Argentina this process has been accelerated via increasing area in row crops, particularly soybeans with high level of mechanization and low labor requirements. The problem of such displacement of rural population is enhanced by the deficient preparation and /or training of personnel for other tasks, lack of alternative job offers, the fact that inputs are usually purchased away from places of use, the absence of infrastructure to absorb the unemployed and the overall inadequate planning to minimize the impacts of this process. Furthermore, the designation of a high percentage of soybeans for biofuel production in the near future will entail an increased competition with other uses, markets and prices, subsequently resulting in price increases and social and food availability problems.

Table 5.-		
Summary of the main impacts of soybean production in Argentina and references to the studies analyzed.		
Topic	Impact	Information source
Wetlands distribution and abundance	Loss, disconnection, and degradation of wetlands	Quirós <i>et al.</i> (2005), Blanco and Méndez (2010), Brandolin <i>et al.</i> (2012), Booman <i>et al.</i> (2012), F. Salvucci pers. comm.
	Biodiversity loss	Quirós <i>et al.</i> (2005), Brandolin <i>et al.</i> (2012).
	Loss of ecosystem services	Blanco and Méndez (2010), Brandolin <i>et al.</i> (2012), F. Salvucci pers. comm.
	Greenhouse gas emissions resulting from wetland loss and degradation	Kandus <i>et al.</i> (2009)
Soil health	Nutrient loss	Vázquez (2005); Cruzate and Casas (2012)
	Salinization / alkalinisation	L.A. Cerana and J.L. Panigatti, pers. comm.
	Contamination	Costa <i>et al.</i> (2010)
	Acidification	Vázquez (2005).
	Erosion	Culasso and De Carli (2001); Casas (2006)
	Compaction	Casas (2006); Casagrande <i>et al.</i> (2009); http://inta.gob.ar/suelos
	Increased runoff	Sasal <i>et al.</i> (2008)
Water quality and availability	Water contamination	Jergentz <i>et al.</i> (2005), Marino and Ronco (2005), Peruzzo <i>et al.</i> (2008), CONICET (2009), Sasal <i>et al.</i> (2010)
	Eutrophication	Vera <i>et al.</i> (2010)
Flora and Fauna	Decreased population of aquatic organisms	Jergentz <i>et al.</i> (2004), Carriquiriborde <i>et al.</i> (2009)
	Physiological/behavioral changes in aquatic organisms	Izaguirre <i>et al.</i> (2000); Lajmanovich and Peltzer (2004); Ballesteros <i>et al.</i> (2009); Brodeur <i>et al.</i> (2011)
	Algal toxicity from agrochemicals	Martin <i>et al.</i> (2003); Martin and Ronco (2006)
	Changes in the structure of riparian plant communities	Martin <i>et al.</i> (2003)
Social development and food security	Concentration of land ownership and loss of small producers	Martínez (2010) and pers. comm. (2012)
	Loss of traditional livelihoods	Pagliariacci and Angel (2012)
	Job loss	Bragachini <i>et al.</i> (2011)
	Loss of rural culture	http://responde.org.ar/sitio

CHAPTER 5

Conclusions and recommendations

South America is the region with the most accelerated growth in soybean production worldwide, with a 30 times increase in cultivated area during the last 40 years (Catacora-Vargas *et al.* 2012). Particularly in Argentina, the introduction of glyphosate-resistant soybean in 1996 and the no-till technology, made soybean cultivation increased at an unprecedented rate. At present, soybean occupies over 60% of the cultivated area and is the main crop used for biodiesel production, making Argentina the fourth largest producer and the first exporter of biodiesel.

Biodiesel exportation from Argentina has grown in a rapid and continued way since 2007, reaching 1.69 million tons by 2011 (Muñoz and Hilbert 2012). According to expert opinion (A. Mascotena pers. comm.), currently around six to eight million tons of soybeans are used for biodiesel production, which constitutes about 14% of total production.

Two well defined areas for soybean production are recognized in Argentina based upon a combination of climate, soil, and potential yield. In the pampas (primary region), soybean production has been intensively developed since the introduction of the Roundup Ready® variety, while the secondary region, particularly northern Argentina, constitutes an area of steady expansion, associated with the development of new drought resistant soybean varieties. This expansion has been undertaken with incomplete knowledge and without land use planning, which has led to environmental degradation and to a process known as *pampeanización* because it entails deforestation of the Chaco forest and its conversion to soybean agriculture fields (Morello *et al.* 2007). Furthermore, soybean production on leased lands is done with the least possible cost, maximizing the economic benefit, with no medium-term considerations, a situation which results in soil and environment deterioration.

Soybean cultivation expansion has been accompanied by a significant increase in pesticides use, especially herbicides and particularly glyphosate (Catacora-Vargas *et al.* 2012). No-till sowing and the use of glyphosate had in turn resulted in the emergence of herbicide-resistant weeds, thus increasing the use of other, more toxic herbicides such as 2,4-D and Paraquat (Catacora-Vargas *et al.* 2012).

Despite the availability of technology which makes possible obtaining higher yields and better quality with minimal environmental effects, short-term planning and economic interests lead to a crop management with low priority to natural resources, including wetland conservation. Soybean cultivation practices and/or expansion over environmentally sensitive and fragile



Soybean pods.

RTFS

areas, are the most important and predominant concern under the current production model.

Considering wetlands, two different scenarios can be distinguished regarding soybean production: wetlands landscapes or landscapes with wetlands. In the first case, soybean is not considered as a productive alternative, so wetlands conservation should be maximized along with promoting production systems appropriate for these ecosystems (this is the case of the Parana Delta or the Esteros del Iberá). In the second case, soybean cultivation needs to be undertaken with appropriate care in order to preserve the goods and services provided by wetlands to society, especially considering those allowing agricultural production. However, in most cases the major role of these ecosystems is not yet recognized, resulting in serious degradation and environmental impacts.

According to this review, soybean production and expansion is producing several environmental and social impacts in Argentina, such as wetland degradation or even complete replacement, with the associated biodiversity loss, water pollution and the irreversible loss of rural culture and traditional knowledge.

Environmental impacts of soybean expansion over wetlands can be grouped into two primary categories:

- 1) Those associated with degradation and loss of wetlands (loss of biodiversity and of ecosystem services, GHG admissions, etc.) and

- 2) Those associated with agrochemicals (contamination of water and soils, eutrophication, behavioral and physiological changes in fauna, mortality of aquatic biota, etc.).

A critical aspect that needs to be taken into account is the close relationship among the maintenance of the hydrological regime, the structural components of wetlands (biodiversity at all scales) and ecosystem functions. This is a concept that is not considered when planning infrastructure in wetlands such as channeling. Modifying wetlands without recognizing this key aspect has direct effect on the ecological function of wetlands as well as on adjoining systems. Moreover, as economic valuation of ecosystem services is still underdeveloped, in the short-term their management is conditional upon greater apparent benefits perceived from a rapid financial return. These constraints threaten the ecological integrity of wetlands and thereby increase the risk of losing the ecosystem services they provide not only at the ecosystem level, but also and most importantly, at social and economic levels (Kandus *et al.* 2011).

Faced with the advance of soybean along with its associated impacts, it is necessary to identify the mechanisms and tools to promote wetlands conservation and maintenance of water quality.

Although Argentina has various environmental laws for preserving natural resources, there is considerable lack of enforcement and control. While there is a National Law on "Minimum Standards of Environmental Protection of Native Forests", a similar Law on "Minimum Standards for the conservation of wetland ecosystems" is still missing.

Regarding the implementation of existing regulations, there is a general tendency in both the legal and judicial systems to minimize penalties imposed for environmental crimes, thus insufficient to deter offenders. Furthermore, lack of continuity in government planning as well as the unclear taxing and export permits, make the planning of sustainable production very difficult.

On the other hand, there is a clear deficit of information and awareness among producers and authorities concerning the importance of wetlands and their role as suppliers of goods and services for society and especially for agricultural production.

General knowledge about natural resources and particularly on the available technology to manage natural areas and crops are essential for sustainable land use planning, curbing ecosystem degradation, especially wetland, while obtaining higher crop yields and the long-desired production sustainability. Despite the importance of this knowledge base, without defined policy and the ability to plan in the medium and long-term, the degradation of ecosystems, and particularly wetlands, will continue.

In order to achieve an environmentally sustainable production, it is clear the need of effective policies with adequate standards of sustainability and their enforcement thereof, as well as the adoption of best agricultural practices by producers, based on a clear awareness of the importance of preserving a healthy environment.

Certification schemes for sustainability and wetlands

Driven by the increase demand for biodiesel worldwide, several sustainability certification schemes that meet the requirements of the European Renewable Energy Directive had been developed, three of which would be appropriate for biofuels certification in Argentina and had been adopted by local market (Muñoz and Hilbert 2012): 2BSvs (Biomass and Biofuel Voluntary Sustainability Scheme), ISCC (International Sustainability and Carbon Certification) and RTRS (Round Table for Responsible Soy).

Regarding wetlands, RTRS standard considers:

- Natural wetlands are not drained and native vegetation is maintained
- Good agricultural practices are implemented to minimize diffuse and localized impacts on surface and ground water quality from chemical residues, fertilizers, erosion or other sources and to promote aquifer recharge
- There is no aerial application of pesticides in WHO Class Ia, Ib and II within 500 m of populated areas or water bodies

Although this consideration of wetlands in the RTRS certification is auspicious, it has not yet been analyzed how this ecosystems would be represented in maps of Areas of High Conservation Value (areas banned for soybean cultivation) neither if these maps will be efficient enough in achieving conservation and sustainable use of these ecosystems. Moreover, it still needs to be determined the results of the implementation of the RTRS Standard in the field as well as its monitoring in order to analyze its success for wetland conservation.

Recommendations

According to the results of this work, we suggest the following recommendations towards environmental sustainability of soybean cultivation:

- Regionally, environmental land use planning is a key tool to restrict the expansion of soybean cultivation, limiting entrance into areas of high value for biodiversity conservation, such as wetlands macro-systems, forests and native grasslands.
- Locally, promoting measures to prohibit expansion of soybean cultivation into the margins of rivers, streams, lakes and ponds and to promote vegetation buffer zones around water bodies which prevent contamination by agrochemicals from drift and runoff, while creating refuge for biodiversity.
- To develop and promote guidelines of best agricultural practices among producers, incorporating the environmental component, including wetlands and biodiversity conservation and sustainable management of water resources.
- To promote environmental monitoring, integrated pest management, and the responsible use of agrochemicals in soybean cultivation
- To identify specific indicators for monitoring socio-environmental impacts of the soybean expansion on wetlands, contributing to the development of the “Soybean Observatory”, according to the workshop “ONGs sudamericanas enfrentando los desafíos de la expansión de soja” in Brasilia in march 2012 (Instituto Centro de Vida *et al.* 2012).
- Review agrochemical use in soybean production and its impacts on wetlands and biodiversity, particularly glyphosate, 2,4-D, Paraquat, Endosulfan, cypermethrin, chlorpyrifos and carbofuran. To support and encourage research related to water contamination and to establish management guidelines for mitigation of the effects from soybean production.
- There is a real environmental degradation risk, particularly in wetlands, related to glyphosate use and, given the fundamental role played by this herbicide in the current soy production system, it is unrealistic to foresee a decline in its use. However, it is possible to implement rational management of this product by taking the necessary precautions to prevent the generation of resistant weeds, avoiding unnecessary applications, and higher doses than those recommended by manufacturers.
- It is important to generate alternative technologies which reduce the use of glyphosate over the medium-term while avoiding adverse effects on the environment. Moreover, production systems less dependent upon a single herbicide will be less vulnerable to market driven price fluctuations.
- To encourage and strengthen interactions among professionals in scientific and technological disciplines related to environmental research and sustainable production programs, along with extension agents responsible for producers outreach and decision makers concerning responsible soy production.
- Educate producers and other actors in the soybean production chain on the importance of wetlands and their major role as suppliers of goods and services for society, and particularly in agricultural production.

CHAPTER 6

Bibliography and consultations

- ADIMRA 2012. Resumen de noticias del sector energético argentino. Noviembre y Diciembre 2011 + Enero 2012 [en línea]. www.adimra.org.ar
- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 74: 19-31.
- Altieri, M.A. and W.A. Pengue 2006. La soja transgénica en América Latina. *Biodiversidad* 47:14-19.
- Ansink, E., L. Hein and K. Per Hasund. 2008. To Value Functions or Services? An Analysis of Ecosystem Valuation Approaches. *Environmental Values* 17:489-503.
- Aragón, J. 2002. Insectos perjudiciales de la soja y su manejo integrado en la Región Pampeana Central [online]. <http://www.inta.gov.ar>
- Austin, A., G. Piñeiro and M. Gonzalez Polo. 2006. More is less: agricultural impacts on the N cycle in Argentina. *Biogeochemistry* 79: 45-70.
- Ballesteros, M.L., P.E. Durando, M.L. Nores, M.P. Díaz, M.A. Bistoni and D.A. Wunderlin. 2009. Endosulfan induces changes in spontaneous swimming activity and acetylcholinesterase activity of *Jenynsia multidentata* (Anablepidae, Cyprinodontiformes). *Environmental Pollution* 157: 1573-1580.
- Battaglin, W.A., D.W. Kolpin, E.A. Scribner, K.M. Kuivila and M.W. Sandstrom. 2005. Glyphosate, other herbicides, and transformation products in Midwestern streams. *Journal of the American Water Resources Association* 41: 323-332.
- Bertonati, C. and J. Corcuera. 2000. Situación Ambiental Argentina 2000. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires, Argentina. 436 pp.
- Blanco, D.E. and F.M. Méndez (eds.). 2010. Endicamientos y terraplenes en el Delta del Paraná: situación, efectos ambientales y marco jurídico. Fundación Humedales / Wetlands International. Buenos Aires, Argentina.
- Booman, G.C., M. Callandroni, P. Laterra, F. Cabria, O. Iribarne y P. Vázquez. Areal changes of lentic water bodies within an agricultural basin of the Argentinean pampas. Disentangling land management from climatic causes. *Environmental Management* 50:1058-1067.
- Bradberry, S.M., A.T. Proudfoot and J.A. Vale. 2004. Glyphosate Poisoning. *Toxicological Reviews* 23:159-167.
- Bragachini, M. 2010. Rol de la agricultura de precisión en el proceso productivo y su futuro hacia la competitividad global. 9º Curso de Agricultura de Precisión y 4ª Expo de Máquinas Precisas, Manfredi, Córdoba, Argentina [online]. <http://agriculturadeprecision.org>
- Bragachini, M., C. Casini, A. Saavedra, J. Méndez, R. de Carli, E. Behr, L. Errasquin, F. Ustarroz and M. Bragachini. 2011. Evolución del sistema productivo agropecuario en Argentina. Proyecto Agregado de Valor en Origen – PRECOP II. Ediciones INTA.
- Brandolin, P.G., M.A. Ávalos and C. De Angelo. 2012. The impact of flood control on the loss of wetlands in Argentina. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* [online]. <http://onlinelibrary.wiley.com>
- Brodeur, J.C., R.P. Suarez, G.S. Natale, A.E. Ronco and M.E. Zacagnini. 2011. Reduced body condition and enzymatic alterations in frogs inhabiting intensive crop production areas. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 1370-1380.
- Bucher, E.H. and J.M. Chani. 1999. Chaco. In Canevari, P., D.E. Blanco, E.H. Bucher, G. Castro and I. Davison (eds.): *Los Humedales de la Argentina: Clasificación, Situación Actual, Conservación y Legislación*. Wetlands International Publ. 46 (2nd. Edition), Buenos Aires. 208 pp. + ii.
- CADER. 2008. Outlook for the Argentine biodiesel industry. Cámara Argentina de Energías Renovables, Buenos Aires. [online]. <http://www.argentinarenovables.org>
- CADER. 2009. Estado de la industria argentina de biodiesel. Reporte segundo cuatrimestre de 2009.
- Canevari, P., D.E. Blanco, E.H. Bucher, G. Castro and I. Davison (eds.). 1999. *Los Humedales de la Argentina: Clasificación, Situación Actual, Conservación y Legislación*. Wetlands International Publ. 46 (2nd. Edition), Buenos Aires. 208 pp. + ii.
- Carriquiriborde, P., J. Díaz, H. Mugni, C. Bonetto and A. Ronco. 2007. Impact of cypermethrin on stream fish populations under field-use in biotech-soybean production. *Chemosphere* 68: 613-621.
- Carriquiriborde, P., J. Díaz, G.C. López, A.E. Ronco and G.M. Somoz. 2009. Effects of cypermethrin chronic exposure and water temperature on survival, growth, sex differentiation, and gonadal developmental stages of *Odontesthes bonariensis* (Teleostei) *Chemosphere* 76: 374-380.

- Casagrande, J., A. Quiroga, I. Frasier and J.C. Colazo. 2009. Aspectos de la evaluación y el manejo de suelos afectados por compactación en San Luis. In Quiroga A., J. Casagrande y J. Colazo (eds.): Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en el este de San Luis. Información Técnica 173, INTA San Luis. 15-21 pp.
- Casas, R.R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos, oportunidad para la Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Annals: Volume LX. Buenos Aires.
- Catacora-Vargas, G., P. Galeano, S. Zanon Agapito-Tenfen, D. Aranda, T. Palau and R. Onofre Nodari. 2012. Producción de soja en las Américas: actualización sobre el uso de tierras y pesticidas [online]. <http://www.redes.org.uy>
- Chang, F., M.F. Simcik and P.D. Capel. 2011. Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere: Environmental Toxicology and Chemistry 30: 548-555.
- Chaplain, V., L. Mamy, L. Vieublé-Gonod, C. Mougin, P. Benoit, E. Barriuso and S. Nélieu. 2011. Fate of pesticides in soils: toward an integrated approach of influential factors. In Stoytchev, M. (ed.): Pesticides in the Modern World - Risks and Benefits. InTech [online]. <http://www.intechopen.com>
- CONICET 2009. Evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente [online]. <http://www.msal.gov.ar>
- Costa, J.L., V. Aparicio, M. Zelaya, V. Gianelli and F. Bedmar. 2010. Transporte de glifosato en el perfil de un suelo del sudeste bonaerense. In Camino, M. and V. Aparicio (eds.): Aspectos ambientales del uso de glifosato. INTA Editions.
- Constanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, G.R. Raskin, P. Sutton and M. van der Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387: 253-260.
- Cruzate, G. and R. Casas. 2003. Balance de nutrientes. Fertilizar. Year 8. Special Number "Sostenibilidad": 7-13.
- Cruzate, G.A. and R. Casas. 2009. Extracción de nutrientes en la agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur N° 44: 21-26.
- Cruzate, G.A. and R. Casas. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IPNI. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 6:7-14.
- Culasso, I. and R. De Carli. 2001. Desarrollo de la siembra directa en Entre Ríos. In Panigatti, J.L., D. Buschiazzi y H. Marelli: Siembra directa. II. INTA Editions.
- Doornbosch, R. and R. Steenblik. 2007. Biofuels: Is the cure worse than the disease? Organisation for Economic Co-operation and Development Roundtable on Sustainable Development, Paris [online]. <http://media.ft.com>
- Engler, P., M. Rodríguez, R. Cancio, M. Handloser and L.M. Vera. 2008. Zonas agro económicas homogéneas Entre Ríos, descripción ambiental, socioeconómica y productiva. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales N° 6, INTA. Buenos Aires, Argentina. 150 pp.
- EPA. 1993. Glyphosate (CASRN 1071-83-6). Integrated Risk Information System [online]. <http://www.epa.gov>
- FAO. 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades [online]. www.fao.org
- Fargione J., J. Hill, D. Tilman, S. Polasky and P. Hawthorne P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. Science 319:1235-38.
- Franz, J.E., M.K.Mao and J.A. Sikorski. 1997. Glyphosate: a unique global herbicide. ACS Monograph 189, American Chemical Society, Washington, DC, 653 pp.
- Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA) and Fundación para el Desarrollo en Justicia y Paz (FUNDAPAZ). 2007. Zonificación de los Bajos Submeridionales del Norte Santafesino. Una Herramienta para la Planificación del Desarrollo Productivo y la Conservación de la Biodiversidad del Humedal. Buenos Aires. Vida Silvestre Argentina.
- García, F.O., I. A. Ciampitti and H. Baigorri (eds.). 2009. Manual de manejo del cultivo de soja. IPNI. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. 180 p.
- Gasparri, N.I. and H.R. Grau. 2006. Patrones regionales de deforestación en el subtropico argentino y su contexto ecológico y socioeconómico. In Brown, A.D., U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (eds.): La Situación Ambiental Argentina. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires.
- Giesy, J.P., S. Dobson and K.R. Solomon. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup® herbicide. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 167:35-120.
- Gnansounou, E., A. Dauriat, J. Villegas and L. Panichelli. 2009. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. Bioresource Technology 100: 4919-4930.
- Gómez A.L, A. Alfieri and M. Angelini. 2006. Estudio de Suelos en la Reserva Biósfera Delta del Paraná. INTA Castelar. Buenos Aires, Argentina.
- Gómez S.E. and N.I. Toresani. 1999. Pampas. In Canevari, P., D.E. Blanco, E.H. Bucher, G. Castro and I. Davison (eds.): Los Humedales de la Argentina: Clasificación, Situación Actual, Conservación y Legislación. Wetlands International Publ. 46 (2nd. Edition), Buenos Aires. 208 pp. + ii.

- Goveto L., C. Saibene, P. Moreyra, N. Villarreal, M.E. Nale, M. Romitti, M. Méndez y M. Campos (comps.). Ramsar Information Sheet on Wetlands of Otamendi Natural Reserve [online]. <http://www.ambiente.gov.ar>
- Grau, R, M. Aide and I. Gasparri. 2005. Globalization and soybean expansion into semiarid ecosystems of Argentina. *Ambio* 34:265-266.
- Imbellone, P.A., J.E. Giménez and J.L. Panigatti. 2010. Suelos de la Región Pampeana. Procesos de formación. INTA Editions. Buenos Aires. 320 pp.
- Instituto Centro de Vida, Both Ends y UICN Países Bajos. 2012. Soy Workshop, Final Report. Brasilia March 2012.
- IPCS. 1994. Environmental Criteria no. 152. Polybrominated biphenyls. WHO, Geneva.
- Izaguirre, M.F., R.C. Lajmanovich, P.M. Peltzer, A. Peralta Soler and V.H. Casco. 2000. Cypermethrin-induced apoptosis in the Telencephalon of *Physalaemus biligonigerus* tadpoles (Anura: Leptodactylidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 65: 501-507.
- Jergentz, S., P. Pessacq, H. Mugni, C. Bonetto and R. Schulz. 2004. Linking in situ bioassays and population dynamics of macroinvertebrates to assess agricultural contamination in streams of the Argentine pampa. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 59: 133-141.
- Jergentz, S., H. Mugni, C. Bonetto and R. Schulz. 2005. Assessment of insecticide contamination in runoff and stream water of small agricultural streams in the main soybean area of Argentina. *Chemosphere* 61: 817-826.
- Jóbbagy, E.G. and C. Santoni. 2006. La (nueva) agricultura y la hidrología en la llanura chaco pampeana: Desafíos para las próximas décadas. XXII Reunión Argentina de Ecología. "Fronteras en Ecología: hechos y perspectivas". August 22nd to 25th, Córdoba, Argentina.
- Joensen, L., S. Semino and H. Paul. 2005. Argentina: A case study on the impact of genetically engineered soya. How producing RR soya is destroying the food security and sovereignty of Argentina. Gaia Foundation, London [online]. <http://www.econexus.info>
- Kandus, P., P. Minotti and A.I. Malvárez. 2008. Distribution of wetlands in Argentina estimated from soil charts. *Acta Scientiarum* 30 (4): 403-409.
- Kandus, P., M. Salvia, D. Ceballos, N. Madanes, V. Cappello, M. García Cortes and M. Morais. 2009. Incendios de 2008 en el Delta Del Río Paraná, Argentina. Análisis ecológico sobre el sector de islas frente a las localidades de Zárate, Baradero y San Pedro. Technical report.
- Kandus, P. and P. Minotti. 2010. Distribución de terraplenes y áreas endicadas en la región del Delta del Paraná. In Blanco, D.E. y F.M. Méndez (eds.): Endicamientos y terraplenes en el Delta del Paraná: situación, efectos ambientales y marco jurídico. Fundación Humedales / Wetlands International. Buenos Aires.
- Kandus, P., R.D. Quintana, P. Minotti, J. Oddi, C. Baigún, G. González Trilla and D. Ceballos. 2011. Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. In Lathera, P., E.G. Jobbágy, J.M. Paruelo (eds.): Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. INTA Editions. Buenos Aires. 740 pp.
- Koh, L. and J. Ghazoul. 2008. Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. *Biological Conservation* 141: 2450-2460.
- Lajmanovich, R.C. and P.M. Peltzer. 2004. Aportes al Conocimiento de los Anfibios Anuros con Distribución en las Provincias de Santa Fe y Entre Ríos (Biología, Diversidad, Ecotoxicología y Conservación). In Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino. INSUGEO, Miscelánea, 12: 291-302. Tucumán.
- Lamers, P. 2006. Emerging liquid biofuel markets: ¿Adónde va la Argentina? IIEE thesis: Lund, Sweden.
- Lockhart, W.L., B.N. Billeck and C.L. Baron. 1989. Bioassays with a floating aquatic plant (*Lemna minor*) for effects of sprayed and dissolved glyphosate. *Hydrobiologia* 189: 353-359
- Maitre, M.I., E. Lorenzatti, A. Lenardón and S. Enrique. 2008. Adsorption and desorption of glyphosate in two argentinian soil. *Natura Neotropicalis* 39: 20-31
- Marino, D. and A. Ronco. 2005. Cypermethrin and chlorpyrifos concentration levels in surface water bodies of the Pampa Ondulada, Argentina. *Environmental Contamination and Toxicology* 75: 820-826.
- Martin, M.L. and A.E. Ronco. 2006. Effects of mixtures of pesticides used in the direct seeding technique on non-target plant seeds. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 77: 228-236.
- Martin, M.L., C. Sobrero, C. Rivas, F. Rimoldi and A. Ronco. 2003. Impacto del uso de pesticidas asociados a la siembra directa sobre especies no-blanco. Flora riparia y acuática. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: para la vida y el desarrollo sostenible, Cartagena de Indias.
- Martínez, F. 2010. Crónica de la soja en la región pampeana argentina. Para mejorar la producción 45: 141-146.
- Massaro, R.A. 2010. Prácticas de manejo de plagas insectiles para revisar. Para mejorar la producción 45. INTA EEA Oliveros.
- Maud, S., M. Hamer, M. Lane, E. Farrelly, J. Rapley, U. Goggin and W. Gentle. 2002. Partitioning, bioavailability, and toxicity of the pyrethroid insecticide cypermethrin in sediments. *Environ. Toxicol. Chem.* 21: 9-15.

- Monti, M. 2008. Retenciones móviles en los granos: impactos económicos en el Distrito de Rufino. Dirección de Extensión e Investigación Agropecuaria, Ministerio de la Producción, Santa Fe.
- Morello, J., W. Pengue and A.F. Rodriguez. 2007. Un siglo de cambios de diseño del paisaje: el Chaco Argentino. In Mateucci, S. (ed.): Panorama de la ecología de paisajes en Argentina y países sudamericanos. INTA Editions.
- Muñoz, L. and J.A. Hilbert. 2012. Biocombustibles: El avance de la certificación de sustentabilidad en la Argentina. Informes Técnicos Bioenergía. Year 1, N°2. INTA Editions.
- Nandula, V.K., K.N. Reddy, S.O. Duke and D.H. Poston. 2005. Glyphosate-resistant weeds: current status and future outlook. *Outlooks on Pest Management*, August: 183-187.
- Ortega, L.E. and E. Azcuy Ameghino. 2009. Expansión de la frontera agropecuaria, restructuración ganadera y sojización en regiones extrapampeanas. XV Jornadas de Epistemología de las Ciencias Económicas. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Buenos Aires. October 1st and 2nd.
- Pagliaricci, L. and A.N. Angel. 2012. Evolución de la actividad frutícola en el partido de San Pedro. In Producción del duraznero en la Región Pampeana, Argentina. INTA EEA San Pedro.
- Panichelli, L., A. Dauriat and E. Gnansounou. 2009. Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. *Int. J. Life Cycle Assess* 14:144–159.
- Panigatti, J.L. 1976. Molisoles del norte de la zona pampeana. III. Cambios debidos a diferentes manejos. *RIA. Series 3. XII (3): 129-143.*
- Peiretti, R. 2011. La Siembra Directa y las Instituciones de Productores. Sus roles frente al desafío de aumentar la producción agrícola global en forma sustentable. 20th Aapresid Congress. Rosario, Santa Fe.
- Peruzzo, P.J., A.A. Porta and A.E. Ronco. 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environmental Pollution* 156: 60-61.
- Pessagno, M.R., R.M. Torres Sánchez and M.A. dos Santos. 2008. Glyphosate behavior at soil and mineral-water interfaces. *Environmental Pollution* 153: 53–5
- Pognante, J., M. Bragachini and C. Casini. 2011. Siembra directa. Ediciones INTA [online]. <http://www.inta.gov.ar/>
- Poledo, M. 2009. Mercado doméstico de biodiesel. In IDIA XXI: 12 [online]. <http://www.inta.gov.ar/>
- Quirós, R., M.B. Boveri, C.A. Petracchi, A.M. Ranella, J.J. Rosso, A. Sosnovsky and H.T. von Bernard. 2005. Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gestão*. Rede ETROSUL, PROSUL, São Carlos, Brasil. Second draft.
- Racke, K. D. 1993. Environmental fate of chlorpyrifos. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 131:1-150.
- Ramsar. 2008. 10th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Convention on Wetlands: "Healthy Wetlands, Healthy People". 28 October - 4 November. Changwon, Republic of Korea [online]. <http://www.ramsar.org>
- Righelato, R. and D.V. Spracklen. 2007. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests? *Science* 317:902.
- Romeo, F. and M.D. Quijano. 2000. Risk Assessment in a third world reality: an endosulfan case history. *International Journal of Occupational and Environment Health*. Vol. 6, N°4.
- Sasal, M.C., M.G. Wilson and N.A. Garciarena. 2008. Escurrimiento superficial y pérdida de nutrientes y glifosato en secuencias de cultivos. En *Agricultura Sustentable*. INTA EEA Paraná. Serie Extensión N° 51: 40-48.
- Sasal, M., A. Andriulo, M. Wilson and S. Portela. 2010. Pérdidas de glifosato por drenaje y escurrimiento en molisoles bajo siembra directa. *Información Tecnológica*. Vol. 21(5): 135-142.
- Scott, D.A and M. Carbonell. 1986. Inventario de humedales de la Región Neotropical. IWRB. Slimbridge, U.K.
- Scheinkerman de Obschatko, E. and F. Begenisic (coord.). 2006. Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil. 1a ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA: Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación - SAGPyA. Buenos Aires.
- Searchinger, T., R. Heimlich, R. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes and T. Yu. 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319: 1238-1240.
- Thrupp, L.A. 2000. Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *International Affairs - INT AFF* 76 (2): 283-297.
- Tomei, J. and P. Upham. 2009. Argentinean soy based biodiesel: An introduction to production and impacts. Tyndall Working Paper 132, April [online]. <http://www.tyndall.ac.uk>
- USDA. 2010. Northern Argentina Production Potential Continues to Grow. USDA Foreign Agricultural Service Commodity intelligence Report [online]. <http://www.pecad.fas.usda.gov>

Vázquez, M.E. 2005. Calcio y magnesio, acidez y alcalinidad del suelo. In Echeverría, H.E. and F.O. García (eds.): *Fertilidad y Fertilización de Cultivos*. INTA Editions. Buenos Aires.

Vera, M.S., L. Lagomarsino, M. Sylvester, G.L. Pérez, P. Rodríguez, H. Mugni, R. Sinistro, M. Ferraro, C. Bonetto, H. Zagarese and H. Pizarro. 2010. New evidences of Roundup (glyphosate formulation) impact on the periphyton community and the water quality of freshwater ecosystems. *Ecotoxicology* 19: 710-721.

Vereecken, H. 2005. Mobility and leaching of glyphosate: a review. *Pest Management Science* 61:1139–1151.

Weyland, F., S.L. Poggio and C.M. Ghersa. 2008. *Agricultura y Biodiversidad*. *Ciencia Hoy* 106: 27-35.

Zaccagnini, M.E. and N.C. Calamari. 2001. *Labranzas conservacionistas, siembra directa y biodiversidad*. In Panigatti, J.L., D. Buschiazzo y H. Marelli (eds.): *Siembra Directa II*. INTA, Buenos Aires.

Experts Interviews

- Agronomist / Dr. Cristina **Arregui**, Professor of Plant Health, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Esperanza, Santa Fe.
- M.Sc. Jaime **Bernardos** (wildlife management), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Anguil, La Pampa.
- Dr. Julie **Brodeur** (toxicology), Instituto de Recursos Biológicos, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Dr. Eugenio **Cap**, Director of Instituto de Economía, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Dr. Pablo **Collins**, Vice Director of Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET), Santa Fe.
- Agronomist / Dr. José Luis **Costa**, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Balcarce, Buenos Aires.
- Dra. Ana M. **Gagneten**, Reserchear at Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET), Santa Fe.
- Agronomist Jorge **Hernández**, Farming and Forestry Counselling, Plan Validación of Ministry of Production, Formosa.
- Dr. Mercedes **Marchese**, Director of Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET), Santa Fe.
- Agronomist Jorge **Medina**, Instituto de Economía, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Lic. Roberto **Olivares** (edaphology), Director de Suelos y Agua Rural, Ministry of Economy, Chaco.
- Lic. Laura **Orduna** (biodiversity), Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Entre Ríos.
- Chemical Engineer / M.Sc. Claudia **Oroná**, Dept. Química Industrial y Aplicada y Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Córdoba.
- Chemist / Dr. María C. **Panigatti**, Professor Environmental Impact and Laboratory Coordinator, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Rafaela, Santa Fe.
- P.E. Carlos **Paoli** (hydric resources), Director of Centro Regional Litoral of Instituto Nacional del Agua (INA) Regional Santa Fe, Santa Fe.
- Hydraulic P.E. Juan C. **Parera**, Relaciones Interinstitucionales of Administración Provincial del Agua, Chaco.
- P.E. Pablo **Peraud** (farming production), Coordinator of ADECOAGRO.
- Lic. Jorge **Peyrano** (edaphology), Infraestructura Hídrica, Administración Provincial del Agua, Chaco.
- Agronomist / M.Sc. Miguel **Pilatti**, Professor Edaphology and Director of Environmental Sciences Dept., Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Esperanza, Santa Fe.
- Dr. Rubén **Quintana**, CONICET Independent Researcher / Associate Professor UBA, Grupo de Investigaciones sobre Ecología de Humedales, Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA), UNSAM, Dpto. de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Attorney Diego **Rodríguez**, Executive Director “M’biguá Ciudadanía y justicia ambiental”, Paraná, Entre Ríos.
- Veterinary Marcelo **Romano**, Centro de Investigaciones en Biodiversidad y Ambiente “Ecosur”, Rosario, Santa Fe.
- P.E. Martín R. **Romano** (forestry), Rector of Universidad Nacional de Formosa, Formosa.
- Lic. Pedro **Schaefer** (edaphology), Professor of Forestry Soils at Universidad Nacional Formosa, Formosa.
- Enrique **Sierra**, Fundación Óga, San Nicolás, Buenos Aires.
- M.Sc. M. Elena **Zaccagnini**, National Coordinator in Environmental Management / Instituto de Recursos Biológicos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Castelar, Buenos Aires.
- Juan C. **Zembo**, Coordinator Institutional Projects, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.

Institutions abbreviations list

Aapresid	Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (Argentinean Association of No-till Producers)
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (National Commission for Scientific and Technological Research)
CREA	Consortio Regional de Experimentación Agrícola (Regional Consortium of Agricultural Experimentation)
EPA	US Environmental Protection Agency
EU	European Union
FAO	United Nations Food and Agriculture Organisation
GEF	Global Environment Fund
IICA PROCISUR	Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico, Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (Cooperative Programme for the Technological, Agrifood and Industrial of the Southern Cone of the Interamerican Institute of Agricultural Cooperation)
INPOFOS	Instituto de la Potasa y el Fósforo (Potase and Phosphorus Institute)
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (National Institute of Farming and Agricultural Technology)
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (National Institute of Industrial Technology)
MAGyP	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (Agriculture, Ranching and Fishing National Ministry)
MCTIP	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Ministry of Science, Technology and Productive Innovation)
POEA	Polyethylenediamine
RTRS	Round Table for Responsible Soy
SAGPyA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación (Agriculture, Ranching, Fishing and Food National Secretariat)
SAyDS	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (Environment and Sustainable Development National Secretariat)
SE	Secretaría de Energía (Energy Secretariat)
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (National Service of Agrifood Health and Quality)
UNIDO	United Nations Industrial Development Organisation
WHO	United Nations World Health Organisation
YPF	Yacimientos Petrolíferos Fiscales (State Oilfields)

Other abbreviations

2BSvs	Biomass Biofuels Sustainability voluntary scheme
AMPA	Aminomethylphosphonic acid
GHG	Green-house gases
GIS	Geographic Information System
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
OM	Organic matter
OAT	Environmental land use planning
POEA	Polyethylenediamine

Figuras

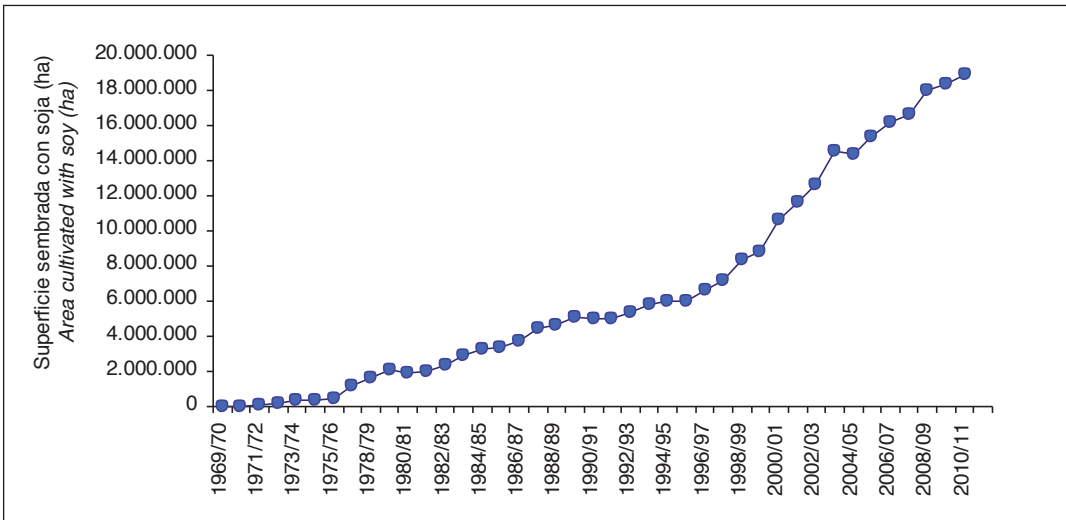


Figura 1.- Evolución del área sembrada con soja en Argentina.
Fuente: MAGyP / **Figure 1.-** Soybean cultivated area in Argentina
Source: MAGyP.

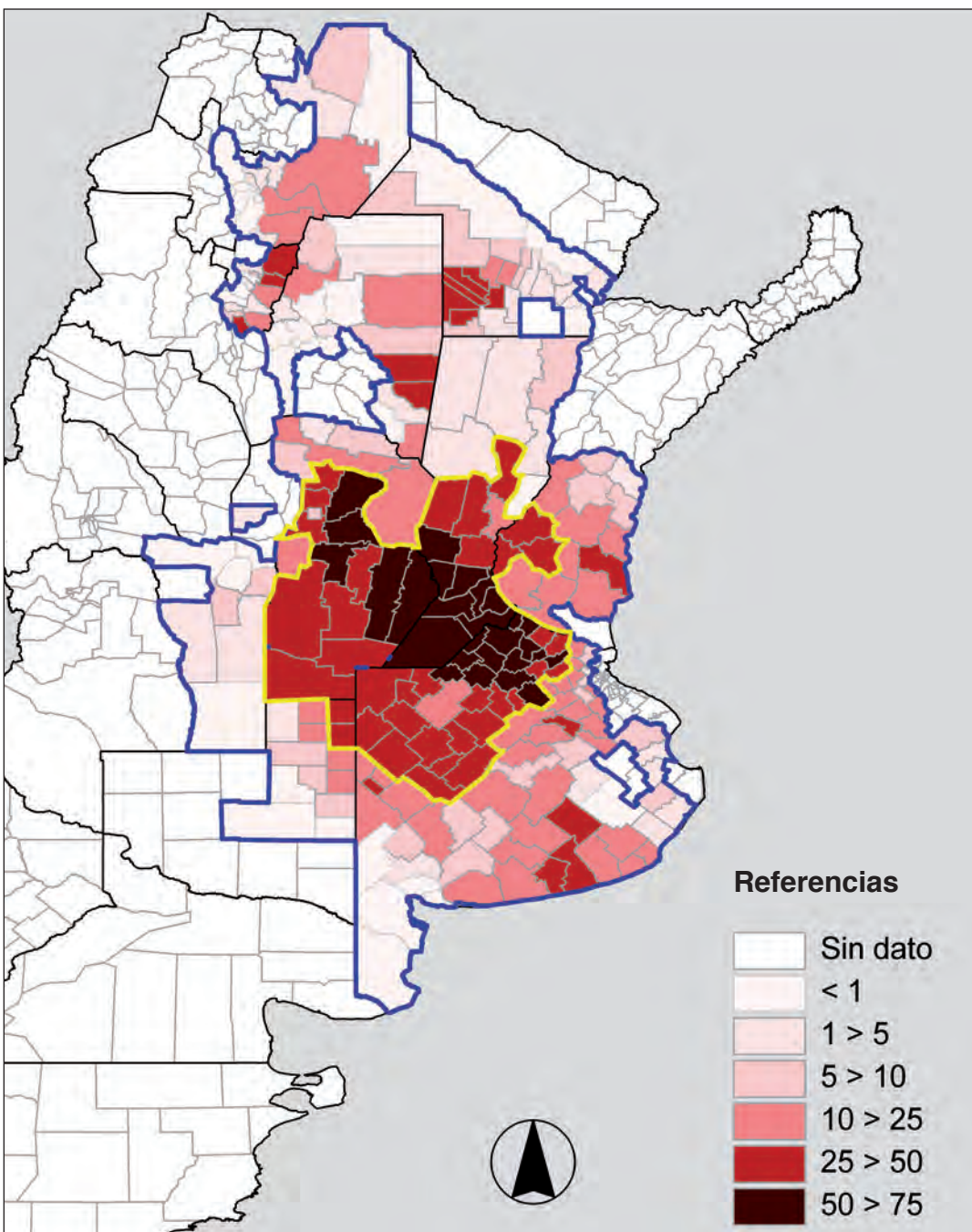


Figura 2.- Distribución del cultivo de soja en Argentina, discriminando el porcentaje de la superficie cultivada por departamento correspondiente a la región primaria (contorno amarillo) y a la secundaria (contorno azul).
Fuente: MAGyP / **Figure 2.-** Soybean distribution in Argentina, classified by percentage of area cultivated per department in the primary (yellow outline) and secondary (blue outline) regions.
Source: MAGyP.

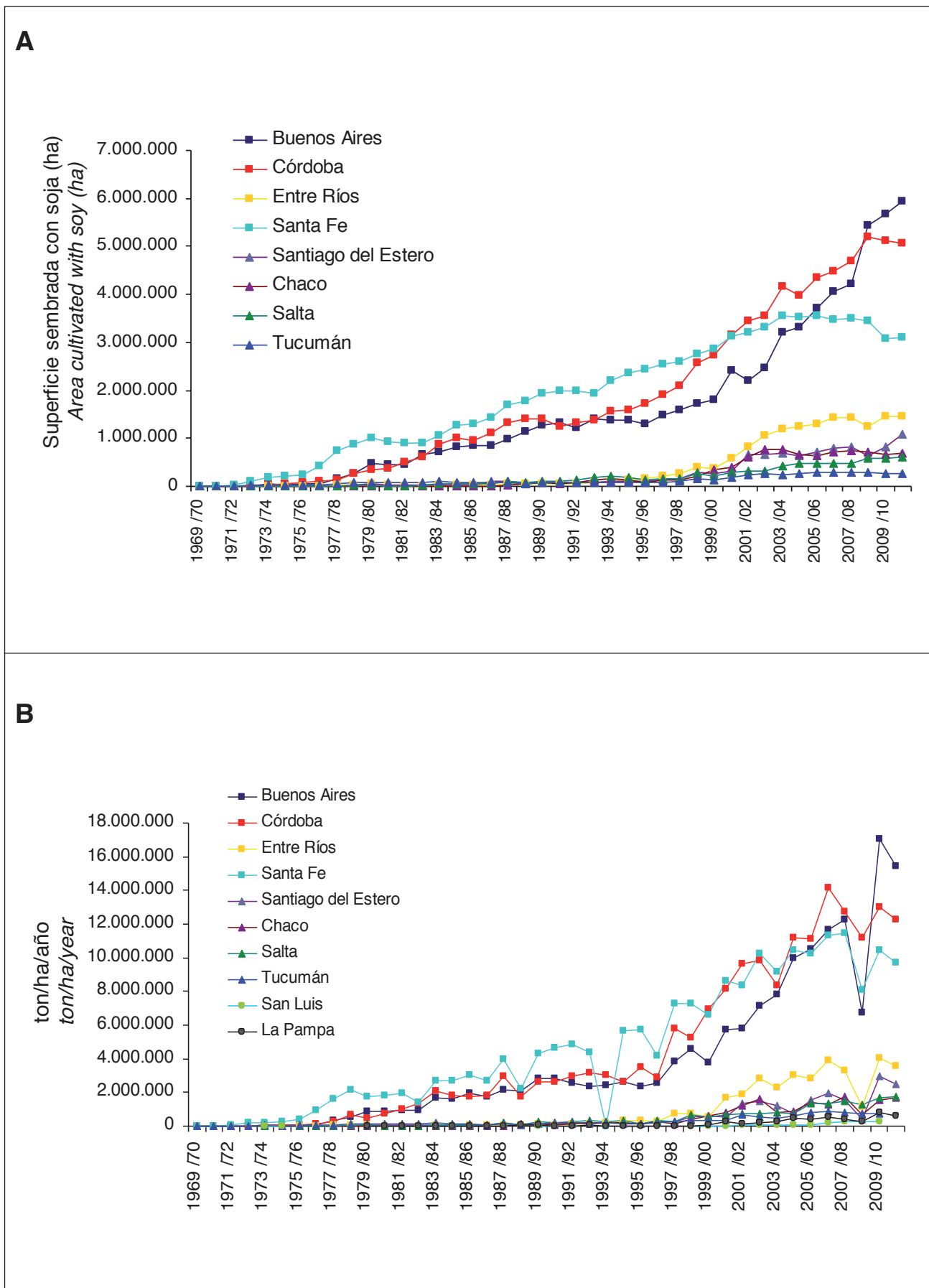


Figura 3.- Evolución del cultivo de soja por provincia para el período 1969-2011: A) superficie sembrada en hectáreas y B) producción de soja (en toneladas/hectárea al año). Fuente: MAGyP / **Figure 3.-** Trends on soybean cultivation, sorted by province for the period 1969-2011: A) sown area in hectares and B) soybean production (in tons/hectare per year). Source: MAGyP.



José Luis Panigatti

Figura 4.- Producción de soja en un establecimiento de Pergamino, provincia de Buenos Aires / **Figure 4.-** Soybeans on a farm in Pergamino, Buenos Aires province.



José Luis Panigatti

Figura 5.- Cultivo de soja luego de desmonte en el suroeste de Entre Ríos / **Figure 5.-** Soybean cultivation following deforestation in the southwest of Entre Ríos province.

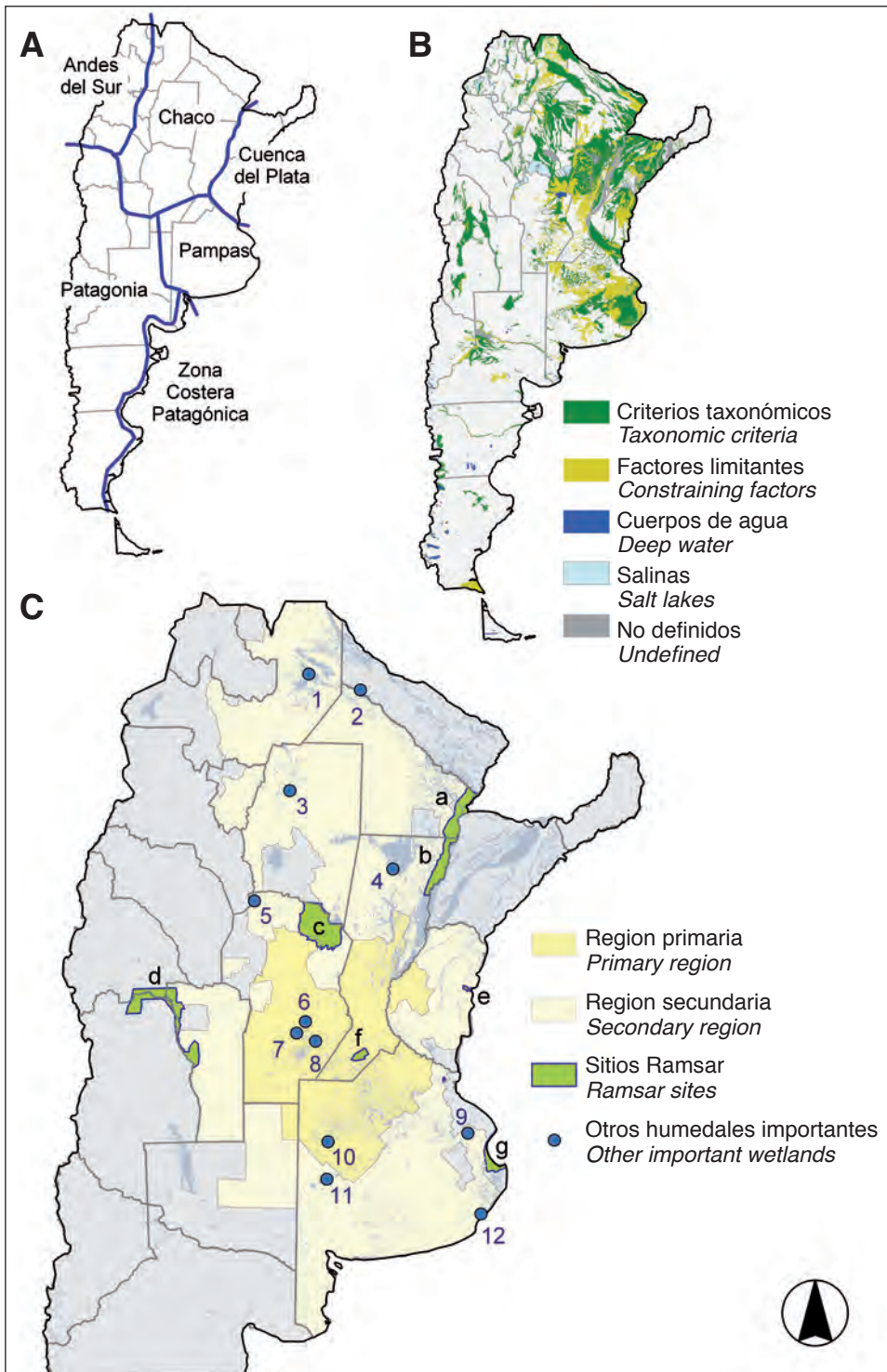


Figura 6.- Humedales de la Argentina: A) Regiones de humedales según Canevari *et al.* (1999), B) mapa de distribución de humedales según Kandus *et al.* (2008)¹ y C) principales humedales localizados en las regiones primaria y secundaria de cultivo de soja, incluyendo sitios Ramsar y otros humedales de importancia. Sitios Ramsar: a) Humedales Chaco, b) Jaaukanigás, c) Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita, d) Lagunas de Guanacache, Desaguadero y del Bebedero, e) Palmar Yatay, f) Humedal Laguna Melincué y g) Bahía de Samborombón. Otros humedales importantes: 1) Bañados de Quirquincho, 2) Reserva Natural Formosa, 3) Bañados de Figueroa, 4) Bajos Submeridionales, 5) Salinas Grandes, 6) Lagunas de Etruria, 7) Laguna Ludueña, 8) Bañados del Río Saladillo, 9) Sistema de Chascomús, 10) Complejo Lagunar Las Tunas-El Hinojo, 11) Sistema de Lagunas Encadenadas del Oeste y 12) Albufera Mar Chiquita / **Figure 6.-** Wetlands of Argentina: A) wetland

regions according to Canevari *et al.* (1999), B) map of wetlands distribution according to Kandus *et al.* (2008)² and C) main wetland sites within the primary and secondary regions of soybean cultivation, including Ramsar sites and other important wetlands. Ramsar sites: a) Humedales Chaco, b) Jaaukanigás, c) Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita, d) Lagunas de Guanacache, Desaguadero y del Bebedero, e) Palmar Yatay, f) Humedal Laguna Melincué and g) Bahía de Samborombón. Other important wetlands: 1) Bañados de Quirquincho, 2) Reserva Natural Formosa, 3) Bañados de Figueroa, 4) Bajos Submeridionales, 5) Salinas Grandes, 6) Lagunas de Etruria, 7) Laguna Ludueña, 8) Bañados del Río Saladillo, 9) Sistema de Chascomús, 10) Complejo Lagunar Las Tunas-El Hinojo, 11) Sistema de Lagunas Encadenadas del Oeste and 12) Albufera Mar Chiquita.

¹ Mapa de Humedales de Argentina elaborado a partir de la carta de suelos a escala 1:250.000 (INTA 1995). **Criterios taxonómicos:** áreas de humedales definidos por el carácter taxonómico de los suelos; **factores limitantes:** áreas de humedales derivados de la acción de condiciones limitantes.

² Map of wetlands of Argentina estimated from soil charts at scale 1:250.000 (INTA 1995). **Taxonomic criteria:** wetland areas defined by the taxonomic character of soils; **constraining factors:** wetland areas resulting from the action of constraining conditions.



Figura 7.- Cultivo de soja y salud del suelo en la provincia de Entre Ríos: A) degradación del suelo por compactación por cosecha de soja en suelo con exceso de humedad y B) erosión en cárcavas, surcos y laminar por cultivos repetidos, principalmente soja / **Figure 7.-** Soybean cultivation and soil health in Entre Ríos province: A) soil degradation by compaction from soybean harvest on soils with excessive moisture and B) erosion in gullies and ruts in repeatedly cultivated field, mainly for soybeans.

Misión:

Preservar y restaurar los humedales, sus recursos y biodiversidad, para las futuras generaciones.

Mission:

To sustain and restore wetlands, their resources and biodiversity for future generations.

Los biocombustibles surgen como respuesta al acelerado agotamiento de los recursos energéticos fósiles y como un producto cuya combustión reduce la emisión de gases de efecto invernadero respecto a los carburantes fósiles. Sin embargo, con el incremento del empleo de biocombustibles a partir de cultivos agrícolas, se ha originado un debate acerca de los impactos de estos productos sobre el medio ambiente. En la actualidad la soja representa más del 60% de la superficie cultivada de la Argentina, siendo el principal cultivo para la producción de biodiesel y convirtiendo al país en el cuarto productor de biocombustibles y en el primer exportador a nivel mundial. En esta publicación se recopila y analiza la información actual disponible en relación al cultivo de soja en Argentina y a los impactos de su producción sobre los ecosistemas de humedales y el agua. También presenta una serie de recomendaciones orientadas a que dicha producción sea compatible con el mantenimiento de las funciones que ofrecen los humedales y la preservación del recurso agua.

Biofuels are a response to the rapid depletion of fossil fuels and as a fuel which reduces the emission of greenhouse gases compared to fossil fuels. However, the increased use of biofuels from agricultural crops has led to a debate about the impacts of these products on the environment. Currently soybean accounts for over 60% of the cultivated area of the country and is the main crop for biodiesel production; making Argentina the world's fourth largest producer of biofuels and the largest exporter. This publication compiles and analyzes current information regarding expansion of soybean crop in Argentina, as well as impacts on wetland ecosystems and water resources. It also presents a series of recommendations towards making soybean production compatible with maintaining wetlands functions and preserving water resources.

Para mayor información puede visitar nuestro sitio en Internet o contactar nuestras oficinas / *For further information please visit our website or contact our offices:*

<http://lac.wetlands.org/>

Fundación Humedales
Wetlands International Argentina
25 de Mayo 758 10° I
(1002) Buenos Aires
Argentina
Tel./fax: ++54 11 4312 0932
Info@humedales.org.ar

Wetlands International
P.O. Box 471
6700 AL Wageningen
The Netherlands
Tel. ++31 318 660 910
Fax ++31 318 660 950
post@wetlands.org

ISBN 978-987-24710-8-8

