



**Programa de Maestría en Ciencias Ambientales
Proyecto de Tesis**

**Inclusión de soja en sistemas de producción arroz-pastura: impactos sobre servicios
ecosistémicos**

Lic. Andrea Tommasino Améndola
Orientadora: Dra. Gabriela Eguren Iriarte
Tribunal: Ing. Agr. PhD. Amabelia del Pino
Ing. Agr. PhD. Cimelio Bayer
Ing. Agr. PhD. José, Paruelo

Octubre 2014, Montevideo-Uruguay.

Resumen

En los últimos 10 años, el crecimiento de la demanda de granos para alimentación animal y producción de biocombustibles generó un auge en los precios de mercado, lo que originó cambios en los sistemas de producción agrícola. Esto ha convertido a América del Sur en una de las áreas agrícolas más importantes a nivel mundial. En Uruguay, la producción se intensificó y hubo una sustitución de pasturas por cultivos agrícolas, fundamentalmente con una mayor participación de soja en las rotaciones. En los últimos años, debido a la reducción en los márgenes de ganancia que viene experimentando el sector arrocero, la inclusión de soja en la rotación arroz-pastura se visualiza como una alternativa económica, dada su creciente demanda y precio de mercado. Sin embargo, aún no se ha determinado si la inclusión de este cultivo en la rotación arroz-pastura afecta servicios ecosistémicos intermedios y finales de estos agroecosistemas. En tal sentido, este estudio propone analizar a nivel de chacras comerciales si dicha inclusión en la zona arrocera del Este del país genera cambios en las relaciones de carbono, nitrógeno y fósforo en suelo y agua, así como en los rendimientos de arroz.

1. Introducción

Los recursos suelo y agua son los pilares que sustentan la agricultura. Sin embargo la expansión agrícola a áreas marginales y la intensificación de la producción han generado cambios en su estructura (componentes bióticos y abióticos) y funcionamiento (flujo de energía, materia, interacciones biológicas) (Matson *et al.*, 1997). Dicha expansión e intensificación se ha logrado mediante la mejora de las tecnologías aplicadas, como agricultura de precisión, fertilización, selección de variedades de alto rendimiento, organismos genéticamente modificados (OGM), resistencia a plagas, manejo de riego, entre otras (Tilman *et al.*, 2002). Este proceso en parte es respuesta al aumento de la demanda global de alimentos, fibras y energía (Paruelo *et al.*, 2006). Si bien dichas innovaciones tecnológicas hacen que el agroecosistema a escala predial parezca estable, por ejemplo en términos de rendimientos de los cultivos, esto puede enmascarar cambios graduales sobre los balances de energía y nutrientes a escalas espaciales igual y/o mayores, pudiendo afectar por ejemplo la calidad de distintas fuentes de agua y el suelo (Leinweber *et al.*, 2002; Kronvang *et al.*, 2007). En tal sentido, aproximadamente el 20% del nitrógeno y del fósforo que ingresa a los sistemas agrícolas proviene de fertilizantes, los que son exportados principalmente por erosión y lixiviación hacia cursos de agua superficiales (De la Fuente & Suárez, 2008; Oesterheld, 2008), pudiendo generar procesos de eutrofización (Ongley, 1997; Carpenter *et al.*, 1998), problema claramente visible en Uruguay en varias cuencas (Saizar *et al.*, 2010; De León, 2011).

1.1 Agricultura y servicios ecosistémicos

El término servicios ecosistémicos es relativamente reciente, y ha tenido variantes en su definición y/o interpretación, generando algunas discusiones (ver Costanza *et al.*, 1997; Daily, 1997; MAE, 2005; Boyd & Banzhaf 2007; Fisher, 2008). Para este trabajo se usará la definición y clasificación de los servicios ecosistémicos planteada por Fisher *et al.*, (2009). Los servicios ecosistémicos son los aspectos de los ecosistemas utilizados activa o pasivamente, que brindan algún beneficio a la sociedad humana, a su vez los mismos deben ser un fenómeno ecológico y no tienen por qué ser directamente utilizados. Los servicios ecosistémicos incluyen la organización, estructura, procesos y/o funciones del ecosistema que sean directa o indirectamente utilizadas o consumidos. La clasificación propone que la estructura y los procesos de los ecosistemas son servicios intermedios (SI) (ejemplo: polinización, productividad primaria, formación del suelo, composición de especies), a partir de los cuales se obtienen ciertos servicios ecosistémicos finales (SF) (ejemplo: provisión de agua limpia, balance de energía, producción de forraje), la relación entre los servicios intermedios y finales está dada por “funciones de producción” (Volante *et al.*, 2011). “Las funciones de producción describen cuantitativamente las relaciones causales entre atributos estructurales y/o de funcionamiento del ecosistema y los servicios que proveen. Las funciones de producción mejor descritas

son aquellas de bienes y servicios agropecuarios o forestales con valor de mercado” (Altesor, 2011). Cambios en la provisión de servicios finales están determinados por cambios en la estructura y/o función del ecosistema, o sea en los SI (Volante *et al*, 2011), por ejemplo: un aumento en la producción de granos puede implicar una mayor pérdida de nutrientes de la materia orgánica, erosión del suelo, contaminación de cursos de agua, entre otros. Para obtener beneficios a partir de los SF, generalmente se necesitan otras formas de capital (humano, social) para poder ser usados y/o consumidos por la sociedad (ejemplo: agua para beber y de uso doméstico es un beneficio que se obtiene de la provisión de agua limpia, que es un servicio final, pero donde es necesaria la construcción de diferentes redes de cañerías para dar ese beneficio) (Fisher *et al.*, 2009).

La agricultura, dependiendo del manejo provoca en menor o mayor medida cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Caride *et al.*, 2011). Si bien la intensificación agrícola apunta a aumentar la provisión de servicios finales, como la producción de granos, por lo general implica el deterioro o pérdida de servicios intermedios (materia orgánica y macronutrientes en suelo, aumento en la concentración de nitratos y fósforo total en agua, entre tantos otros). Por tanto la evaluación de los impactos de las prácticas agrícolas desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos (intermedios y/o finales) y sus beneficios puede contribuir a la toma de decisiones respecto a cambios en los esquemas de rotación. A su vez, el abordaje desde los servicios ecosistémicos es útil a la hora de evaluar los cambios en el uso de la tierra en su dimensión ambiental. Esto es planteado por Paruelo *et al.*, (2006, citando a Daily, 1997), quienes argumentan que muchos servicios ecosistémicos no tienen valor de mercado (por ejemplo, purificación de agua, ciclado de nutrientes, biodiversidad, entre otros) y son de apropiación colectiva; y otros que sí tienen valor de mercado (como alimentos, madera, etc.) son generalmente de apropiación privada, por lo tanto, actividades del ámbito privado pasan a ser perjudiciales para la población en su conjunto y esto genera o puede generar conflictos de intereses, situación evidente en la mayor parte de las formas de producción agrícola de nuestro país. Por tanto, el gran desafío es continuar produciendo minimizando los efectos negativos sobre los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que nos brindan (Tilman *et al.*, 2002).

1.2 Expansión de la soja y sus impactos sobre servicios ecosistémicos

En los últimos 10 años el crecimiento de la demanda de granos para alimentación animal y producción de biocombustibles generó un auge en los precios de mercado, lo que produjo cambios en los sistemas de producción agrícola a nivel mundial. La región comprendida por el sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y zona oeste de Argentina se ha convertido en una de las áreas agrícolas más importantes a nivel mundial; y esto se debe básicamente a la expansión del cultivo de soja (*Glycine max*), el cual se ha convertido en uno de los

principales alimentos para humanos y animales a nivel global (Melgar *et al.*, 2011). Los países mencionados, junto con Bolivia, han duplicado en los últimos seis años la producción de este cultivo (Arbeletche *et al.*, 2012), básicamente para satisfacer las demandas de países asiáticos (Melgar *et al.*, 2011).

En Uruguay la expansión de la soja se inició a principios de la década del 2000, pasando de unas 12 mil hectáreas en la zafra 2000/01 a 856 mil hectáreas en 2010/11 (Oyhantçabal & Narbondo, 2012), con un rendimiento promedio de 2000 kg/ha (Anuario DIEA, 2012). Este proceso se observó inicialmente en el Litoral Oeste (Achkar *et al.*, 2011) y en la mayoría de los casos en sustitución de pasturas destinadas a la ganadería (Arbeletche & Carballo, 2008-2009; Terra *et al.*, 2009).

Por otra parte, Arbeletche & Carballo (2008/2009) plantean que el ingreso de la soja ha cambiado la lógica de producción, ya que se pasa de un productor tradicional agrícola, apegado a la tierra y a la obtención de una renta, a una lógica semejante a la industria. Si bien esto ha generado importantes aumentos en el PIB (Producto Interno Bruto) y VBP (Valor Bruto de Producción), estos autores plantean que hay otros factores que no están siendo cuantificados, como: la concentración productiva, marginación de los cambios en la tenencia de la tierra, así como su precio y valor de renta.

En relación a los impactos debidos a la expansión e intensificación del cultivo de soja sobre servicios ecosistémicos, varios autores han reportado problemas de erosión y balance negativo de algunos nutrientes en el suelo (Fearnside, 2001; Lapitz *et al.*, 2004; Achkar *et al.*, 2006; Paruelo *et al.*, 2006). Además, tanto estudios a nivel nacional (Rossello, 2001; García, 2003; Clérici *et al.*, 2004) como en otras regiones del mundo (Studdert & Echeverría, 2000; Anders *et al.*, 2012) han evidenciado algunos efectos sobre el recurso suelo asociados al aumento de la participación de la soja en sistemas de rotación agrícola-agrícola principalmente asociados a las características de su rastrojo: bajo volumen y baja relación C/N, lo que genera una alta tasa de mineralización. Esto favorece procesos erosivos, los que conjuntamente con el aumento en la frecuencia de los eventos de alta precipitación pueden favorecer la movilización de nutrientes hacia los cursos de agua por lixiviación y/o escorrentía superficial. Esto no sólo podría explicar los balances negativos de algunos nutrientes en suelo, sino que también puede desencadenar procesos de eutrofización de fuentes de agua. El exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, altera las tramas tróficas y puede generar una pérdida de calidad de agua así como también de la biodiversidad del ecosistema (Tilman, 2002; Molden *et al.*, 2007; Oesterheld, 2008; Oleaga *et al.*, 2008).

Otro problema asociado a este cultivo es sobre el manejo de la fertilización, se ha observado que generalmente se realiza una fertilización deficiente para no interferir en la fijación biológica de nitrógeno (FBN), pero esto en sí produce una disminución en el pool de nitrógeno del suelo, ya que es un cultivo muy extractivo de nutrientes, donde la FBN solo cubre entre un 20 – 50% de sus necesidades. La disminución de nitrógeno en el pool del suelo redundará en una menor acumulación de materia orgánica y por ende pérdida

de carbono orgánico del suelo, lo cual afecta propiedades físicas y químicas de los mismos. Ante esto, se ha propuesto utilizar fertilizantes de liberación lenta (Caride *et al.*, 2011).

1.3 Inclusión de soja en rotaciones arroz-pasturas en Uruguay

El sistema de producción de arroz en Uruguay se desarrolla integrado con la ganadería, bajo rotaciones con pasturas. Las pasturas en este sistema favorecen la preservación del suelo (Benintende *et al.*, 2008), desde varios aspectos; por un lado el suelo queda cubierto, lo que disminuye su erodabilidad, y por otro las pasturas aumentan los compuestos orgánicos en el suelo por su biomasa subterránea (Haynes *et al.*, 1991; Ernst & Siri-Prieto, 2009), así como también promueven una mayor agregación, porosidad, aireación y drenaje del mismo. Los exudados de las raíces también promueven una mayor biodiversidad de organismos en el suelo. Por lo tanto las pasturas tienen efectos positivos en propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Studdert *et al.*, 1997; García-Préchac *et al.*, 2004; Franzluebbbers *et al.*, 2014), que determinan en conjunto una mejor calidad del mismo.

Si bien esta forma de producción es considerada de bajo impacto ambiental y ha permitido el ingreso del arroz uruguayo a mercados exigentes como los europeos (Cantou *et al.*, 2009), la reducción en los márgenes de ganancia que viene experimentando el sector arrocero han conllevado a la diversificación del esquema de rotación. En tal sentido, la inclusión de soja en la rotación es una de las alternativas elegidas dada su creciente demanda y altos precios de mercado; sumado a las condiciones climáticas favorables en la zafra 2012/13 que permitieron buenos rendimientos. Cabe destacar que si bien este esquema de rotación es relativamente incipiente en nuestro país, ya ha sido incorporado en otros países exportadores de arroz (Anders & Hignight, 2009; Verneti Jr *et al.*, 2009; Castillo *et al.*, 2013).

La soja en el esquema de producción arrocería de Uruguay se viene incorporando desde hace varios años en la zona este y en menor medida en el norte. Esto ha implicado la intensificación de la fase agrícola, y su posición en la rotación es generalmente previa al cultivo de arroz. De acuerdo a asesores y productores de la zona este la siembra de arroz sobre rastrojo de soja reduce el uso de herbicidas (menor infección de malezas, principalmente arroz rojo) y los costos de siembra de arroz en aproximadamente U\$S 150/Há (menor uso de combustible, horas de maquinaria y de personal) (Revista Verde, 2014). Finalmente otro aspecto favorable de la inclusión de la soja es el aumento en los rendimientos de arroz (Anders & Hignight, 2009; Castillo *et al.*, 2013; Revista Verde, 2014). Sin embargo, cabe destacar que al ser el arroz un cultivo que en nuestro país se realiza bajo riego por inundación (lámina de agua controlada), la zona Este es ideal ya que gran parte de sus suelos son inundables, y con un drenaje interno lento (ACA, 2014), condiciones poco favorables para el cultivo de soja.

Aunque desde el punto de vista económico la incorporación de la soja en las rotaciones arroz-pastura se visualiza como una alternativa favorable, sus impactos a mediano y largo plazo sobre los servicios ecosistémicos no son claros. En tal sentido, estudios realizados en Entre Ríos (Argentina) señalan que al disminuir la participación de las pasturas incorporando soja, se reduce el efecto positivo sobre la calidad del suelo y se observa un comportamiento similar a los sistemas de monocultivo arroz (Benintende *et al.*, 2008). Este estudio propone evaluar los impactos de la inclusión del cultivo de soja en la rotación arroz-pastura sobre algunos servicios ecosistémicos intermedios y finales.

2. Objetivo general

Evaluar los impactos de la inclusión de soja en la rotación arroz-pastura en la zona este sobre algunos servicios ecosistémicos intermedios y finales.

2.1 Objetivos específicos

- Determinar en la materia orgánica particulada del suelo la relación de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio en sistemas de rotación arroceras con y sin inclusión de soja (Servicios intermedios).
- Comparar los rendimientos de arroz en sistemas de rotación con y sin inclusión de soja (Servicio final).
- Determinar concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica particulada en canales de drenaje y cursos de agua superficial asociados a sistemas de rotación con y sin inclusión de soja (Servicios intermedios).
- Estimar el riesgo de eutrofización de cursos de agua superficial en función de las cargas de fertilizantes empleadas en sistemas de rotación con y sin inclusión de soja (Servicio final).

3. Hipótesis

El aumento de la participación de soja en rotaciones agrícola-agrícola aumenta los riesgos de erosión y movilización y exportación de nutrientes del suelo. Por el contrario, las rotaciones agrícola-ganadera y en particular arroz-pastura disminuyen la erodabilidad del suelo y reducen los impactos sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Predicción: la inclusión de soja en la rotación arroz-pasturas genera impactos negativos sobre servicios ecosistémicos intermedios y finales.

4. Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

El estudio se llevará a cabo en chacras comerciales localizadas en la zona arrocera del Este de Uruguay (Figura 1). Esta zona abarca las planicies de la Laguna Merín y del Atlántico y reúne más de la mitad de las tierras arrozables del país. Tiene una superficie relativamente continua y concentrada de topografía general muy plana y cuenta con fuentes de agua muy abundantes. Como este cultivo se realiza bajo riego por inundación (lámina de agua controlada), la viabilidad del cultivo se lleva a cabo en superficies con topografía plana (0,5 – 1,5%) y suelos inundables, y con un drenaje interno lento (ACA, 2014). Los suelos que cumplen con dichas características son los Planosoles, Solods y Gleysoles. “Los Planosoles y Solods deben su baja permeabilidad a un máximo grado de diferenciación en el perfil, presentando una capa superficial de textura variable que se apoya sobre otra muy arcillosa (B textural). Los Gleysoles predominan en zonas muy bajas y son suelos pesados en todo el perfil que presentan una napa próxima a la superficie” (Scarlatto, 2003).

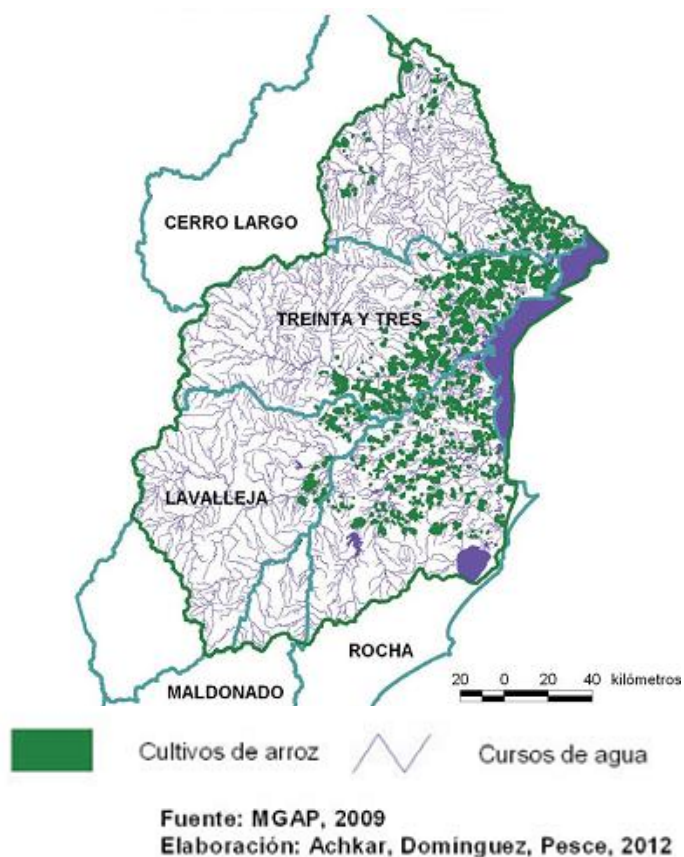


Figura 1. Ubicación de la zona de muestreo.

4.2 Estrategia de investigación y diseño de muestreo

Se analizarán los potenciales cambios en las relaciones de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio en agua y suelo, debidos a la incorporación del cultivo de soja en la fase agrícola de la rotación arroz-pastura en el Este. En el análisis se considerará la carga de fertilizantes según requerimientos del cultivo, almacenaje en suelo y su potencial exportación hacia cursos de agua superficial. El estudio se llevará a cabo en chacras comerciales bajo cultivo de arroz que han incluido uno o dos años consecutivos de soja previos al cultivo de arroz. El mismo se desarrollará en la zafra 2014/15 en dos tipos de suelos representativos de la zona arrocería del este (Gleysoles y Planosoles). Es un estudio observacional, con un análisis de impacto ya que se estudiará el efecto de la inclusión de la soja en la rotación midiendo algunas variables de respuesta (Sit & Taylor, 1998).

Los momentos de muestreo en suelo serán: 1) M0_ previo a la preparación de las chacras para la siembra de arroz y 2) M1_ pos-cosecha arroz; mientras que en agua serán 1) M0_ luego de la inundación de las chacras y M1_ previo al drenaje de las chacras.

4.2.1 Recurso suelo

Para el análisis de suelo se utilizará información primaria y secundaria. En cuanto a la información primaria, se tomarán muestras de chacras comerciales con un año de soja, dos años de soja y sin inclusión de soja. Mientras que la información secundaria constará de: datos de análisis de suelo previos a este estudio de cada chacra analizada (proporcionada por los productores), así como información de ensayos de INIA, datos de la carta de suelos de Uruguay, entre otros.

Para evaluar efectos de la inclusión de la soja en la rotación se utilizarán propiedades relacionadas con los ciclos biogeoquímicos del carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Para la selección de las chacras comerciales se considerará: tipo de suelo, historia de uso, posición topográfica y tipo e intensidad de laboreo, de forma tal que las situaciones sean comparables. Los datos respecto al manejo (laboreo, fertilización, variedades de cultivos, entre otros) serán proporcionados por los productores, así como análisis de suelos anteriores que ellos dispongan.

El muestreo de suelo se realizará con calador a dos profundidades de 0-5 y 5-20 cm y será de forma sistemática con recorrido en zig-zag (Bautista-Zúñiga *et al.*, 2011). Cada muestra compuesta se conformará de acuerdo al criterio planteado por Swenson *et al.* (1984) donde para un nivel de confianza del 80% y un desvío de la media de un 15%, se sugiere tomar 21 sub-muestras por unidad de muestreo para conformar la muestra compuesta; esto teniendo como referencia el fósforo que es el nutriente con mayor variabilidad. Las muestras serán trasladadas al laboratorio en bolsas de polietileno a 4 °C.

En el laboratorio, en cada profundidad del suelo (0-5 y 5-20 cm) se medirá: **pH**, por influir el mismo en actividades químicas y biológicas del suelo, se medirá en agua y en cloruro de potasio (KCl) para realizar el $\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$, donde resultados positivos indican dominio de intercambios aniónicos, y negativos capacidad de intercambio catiónico (Casanova, 2005); **contenido total de carbono, nitrógeno** Kjeldahl (Jackson, 1976), **nitrógeno potencialmente mineralizable** (NPM) mediante incubación anaerobia de 7 días (Waring & Bremner, 1964 en Benintende *et al.*, 2008), ya que es la cantidad del nitrógeno orgánico del suelo que puede ser convertido por la actividad de la biomasa microbiana aerobia heterótrofa a formas inorgánicas solubles, por lo tanto es el aporte del suelo hacia los cultivos (Galvis-Spinola & Hernández-Mendoza, 2004); **fósforo disponible** Bray I (Bray & Kurtz, 1945) y por método del Ác. Cítrico; y **potasio intercambiable**.

La materia orgánica del suelo es un conjunto de compuestos muy variados de distinta complejidad y en distintos estados de transformación, hay desde residuos de plantas y animales recientemente incorporados hasta complejas estructuras que forman parte del humus que llevan siglos de transformación. Para este estudio se trabajará con la materia orgánica particulada (MOP) ya que es una fracción más sensible a los cambios en el corto plazo (Six *et al.*, 2002; Haynes, 2005; Galantini & Suñer, 2008) y a su vez cumple importantes funciones en el suelo, como ser el mayor reservorio de nutrientes disponibles para las plantas así como influir en la estabilidad estructural del suelo (Haynes & Beare, 1996; Janzen *et al.*, 1997 citado en Haynes, 2005). El fraccionamiento más utilizado es el físico, por tamaño de partícula (uso de tamices) (Haynes, 2005; Galantini, 2005), donde se distinguen las siguientes fracciones: mayor a 0,200 mm, fracción entre 0,200 y 0,053 mm y menor a 0,053 mm, ésta última es la fracción de la materia orgánica no particulada, denominada materia orgánica asociada a la fracción mineral (MOAM), las dos primeras conforman la materia orgánica particulada (MOP). De acuerdo a este criterio la MOP sería la que se encuentra libre en el suelo, sin estar integrada a los minerales, en cambio la MO humificada se encuentra unida a los minerales del suelo (MOAM). Es por ello que se espera que la MO particulada sea más sensible a los cambios de manejo, ya que estará influenciada directamente por la entrada de MO al suelo, especialmente residuos vegetales, que al no estar protegida en el complejo arcilla-humus queda más expuesta al ataque microbiano, perdiéndose más rápido por mineralización (Hassink, 1995 en Croscia, 2010).

Por otra parte, se registrarán las dosis de la fertilización, así como los rendimientos obtenidos en la cosecha de cada chacra muestreada.

6. Resultados esperados

A partir del análisis y discusión de los resultados obtenidos se pretende determinar si la inclusión del cultivo de soja en la rotación arroz-pastura altera algunos servicios intermedios y finales de estos agroecosistemas, para de esta forma generar aportes que contribuyan a la toma de decisiones del sector arrocerero respecto a la viabilidad a mediano y/o largo plazo de este nuevo esquema de rotación.

7. Factibilidad

Este proyecto de tesis de maestría cuenta con financiación por parte de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) para la estudiante. Las salidas a campo, y los análisis de laboratorio se realizarán con fondos del laboratorio de Ecotoxicología y Química ambiental del Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales (IECA).

8. Bibliografía

ACA. 2014. La producción en Uruguay. <http://www.aca.com.uy/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=11&Itemid=14> [Acceso en junio 2014].

Achkar, M. 2002. Hacia la gestión sustentable del agua. Programa: Uruguay sustentable. Laboratorio de desarrollo sustentable y gestión ambiental del territorio. Departamento de Geografía. Facultad de Ciencias. UdelaR. Pp. 7.

Achkar, M; Dominguez, A & Pesce, F. 2006. Principales transformaciones territoriales en el Uruguay rural contemporáneo. Pampa: Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales 6: 219-242.

Achkar, M; Dominguez, A; Díaz, I & Pesce, F. 2011. La intensificación del uso agrícola del suelo en el litoral oeste del Uruguay en la última década. Pampa: Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales Nº Extra 7. Pp. 143-158.

Altesor, A. 2011. Servicios ecosistémicos de los pastizales naturales. *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. Serie FPTA, 26.*

Anders, MM; Bryeb, KR; Olkc, DC & Schmidd, BT. 2012. Rice rotation and tillage effects on soil aggregation and aggregate carbon and nitrogen dynamics. *Soil science society of America Journal* 76: 994–1004.

Anders, M & Hignight, J. 2009. Environmental impact, soil quality, grain yield, and the economic viability of a rice-soybean rotation. *BR Wells Rice Res.* 237–247

APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. PHA/AWWA/WPCF. Washington. Pp.1268.

- Arbeletche, P & Carballo, C. 2008-2009. La expansión agrícola en Uruguay: algunas de sus principales consecuencias. *Revista de Desarrollo Rural y Cooperativismo Agrario* 12: 7-20.
- Arbeletche, P; Coppola, M & Paladino, C. 2012. Análisis del agro-negocio como forma de gestión empresarial en América del Sur: el caso uruguayo. *Agrociencia Uruguay* 16 (1): 110-119.
- Bautista-Zúñiga, F; Delfín-González, H; Palacio-Prieto, JL & Delgado-Carranza, M. 2011. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Segunda Edición. México: UADY-CONACYT-INE-UNAM.
- Benintende, SM; Benintende, MC; Sterren, MA & De Battista, JJ. 2008. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. *Ecological Indicators* 8: 704 – 708.
- Bray, RH & Kurtz, LT. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1): 39 - 46.
- Boyd, J & Banzhaf, S. 2007. What are ecosystem services? *Ecological Economics* 63 (2–3): 616–626.
- Cantou, G; Roel, A; Carlomagno, M & González-Sapienza, G. 2009. Agregado de valor a través de la gestión ambiental. *Revista Arroz* 59: 34 – 40.
- Caride, C; Piñeiro, G & Paruelo, JM. 2011. How does agricultural management modify ecosystem services in the argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154, 23-33.
- Carpenter, SR; Caraco, NF; Correll, DL; Howarth, RW; Sharpley, AN & Smith, VH. 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Applications* (8)3: 559 - 568.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la Ciencia del Suelo. UCV-CDCH. Caracas, Venezuela. Cap 10.
- Castillo, J; Bonilla, F; Lucas, T; Amaral, R & Terra, J. 2013. La integración del cultivo de soja a la rotación arroz-pastura en el este. *Revista Arroz* 73: 6-39.
- Clérici, C; García-Préchac, F & Hill, M. 2004. Estimación del Impacto de la Soja sobre Erosión y C Orgánico en Suelos Agrícolas del Uruguay. INIA, Serie Actividades de Difusión 371: 17-22.
- Costanza, R; d'Arge, R; De Groot, R; Farber, S; Grasso, M; Hannon, B; ... & van den Belt, M. (1998). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological economics* 25(1): 3-15.
- Coscia, P; del Pino, A; Barros, C & Moltini, C. 2010. Cambios en la materia orgánica de suelos hortícolas de uruguay con agregado de enmiendas orgánicas(CD ROM) En: Reunión Técnica: Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos. 12 al 14 julio 2010. Colonia. Uruguay.
- Daily, GC. (Ed.). 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC, USA
- De la Fuente, E & Suárez, SA. 2008. Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecología Austral* 18: 239 - 252.
- De León, L. 2011. Monitoreo y evaluación de calidad del agua. Plan para la definición de una línea de base del Río Negro. DINAMA. Disponible desde: <<http://www.mvtoma.gob.uy>> [Acceso en setiembre 2013].

- Eguren, G; García, C; Rivas-Rivera, N; Bandeira, S; Vidal, N; Moura, M; Teixeira de Mello, F & Böcking, B. 2008. Producción agropecuaria y conservación de los recursos naturales. *Revista Plan Agropecuario* 28: 48 - 50.
- Ernst, O & Siri-Prieto, G. 2009. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators. *Soil and Tillage Research* 105(2): 260-268.
- Fearnside, PM. 2001. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28(1): 23-38.
- Fisher, B & Turner, RK. 2008. Ecosystem services: classification for valuation. *Biological Conservation* 141(5): 1167-1169.
- Fisher, B; Turner, RK & Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68(3): 643-653.
- Franzluebbers, AJ; Sawchik, j & Taboada, MA. 2014. Agronomic and environmental impacts of pasture-crop rotations in temperate North and South America. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 190: 18-26.
- Galantini JA. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Manual "Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios" (Eds. L. Marban y S. Ratto) AACs. Capítulo IV (2): 95-106.
- Galantini, JA & Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* XXV(1): 41-55.
- Galvis-Spinola, A & Hernández-Mendoza, T. 2004. Cálculo del nitrógeno potencialmente mineralizable. *Interciencia* 29: 377-383.
- García, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: Impacto en rendimientos y calidad de suelo. En Actas XI Congreso Nacional de AAPRESID. Rosario Pp. 26-29.
- García-Préchac, F; Ernst, O; Siri-Prieto, G & Terra, JA. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research* 77(1): 1-13.
- Hassink, J. 1995. Density fractions of soil macroorganic matter and microbial biomass as predictors of C and N Mineralization. *Soil Bio Biochem* 27:1099-1108.
- Haynes, RJ; Swift, RS & Stephen, RC. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil and Tillage Research* 19(1): 77-87.
- Haynes, RJ & Beare, MH. 1996. Aggregation and organic matter storage in mesothermal, humid Soils. In "Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils" (M. R. Carter and B. A. Stewart, Eds.), pp. 213 - 262. CRC Press, Boca Raton, FL
- Haynes, RJ. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy* 85: 221-268.
- Jackson, M. 1976. Análisis químicos de suelo. Ediciones Omega, Barcelona, 662 pp.

Janzen, HH; Campbell, CA; Ellert, BH & Bremer, E. 1997. Soil organic matter dynamics and their relationship to soil quality. In " Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health " (E. G. Gregorich and M. R. Carter, Eds.), pp. 277 –291. Elsevier, Amsterdam.

Kronvang, B; Vagstad, N; Behrendt, N; Bøgestrand, J & Larsen, SE. 2007. Phosphorus losses at the catchment scale within Europe: an overview. *British Society of Soil Science* 23: 104-116.

Lapitz, R; Evia, G & Gudynas, E. 2004. Soja y carne en el MERCOSUR. Comercio, ambiente y desarrollo agropecuario. Coscoroba, Montevideo.

Leinweber, P; Turner, BL & Meissner, R. 2002. Phosphorus. In: *Agriculture, Hydrology & Water quality* (Eds P. Haygarth & S. Jarvis), Cab International Wallingford UK. Pp. 29-56.

Ley 14.859 – Código de Aguas y Decreto Reglamentario 253/79, Uruguay. Disponible desde: < www.parlamento.gub.uy > [Acceso en junio 2014].

Millenium Ecosystem Assessment (MAE). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Island Press

Matson, PA; Parton, WJ; Power, AG & Swift, MJ. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504–509.

Melgar, R; Vitti, G & de Melo Benites, V. 2011. *Fertilizando para altos rendimientos. Soja en Latinoamérica*. Instituto Internacional de la Potasa Horgen/Suiza.

Molden, D; Schipper, L; De Fraiture, C; Faurés, JM & Vallée, D. 2007. Evaluación exhaustiva del manejo del agua en agricultura. 2007. *Agua para la alimentación, agua para la vida*. Earthscan y Colombo: Instituto Internacional del Manejo del Agua (Londres). 57p

Rossello, RD. 2001. Siembra directa en el Cono Sur. *Bib. Orton IICA/CATIE*. Pp: 387 – 406.

Müller, R. and Wiedemann, O. 1955. Die Bestimmung des Nitrations im Wasser. *Vom Wasser* 22: 247-271.

Murphy, J & Riley, JP. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31-36.

Oesterheld, M. 2008. Impact of agriculture on ecosystems: ecological basis and most relevant problems in Argentina. *Ecología Austral* (18)3: 337-346.

Oleaga, A; Pirelli, H; Rodríguez, L & Vidal, L. 2008. Cambios en el uso de la tierra. En Martino, D (ed) & Methol, M (ed). *GEO Uruguay 2008. Informe del estado del ambiente*. Montevideo, Uruguay. Pp: 56–117

Ongley, ED. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. *Riego y Drenaje* Nº 55, FAO, Roma. Pp 116.

Oyhantçabal, G & Narbondo, I. 2012. Valorización del balance de N y P de la soja en Uruguay *Gabriel Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 19: 54 - 65.

Paruelo, JM; Guerschman, JP; Piñeiro, G; Jobbágy, EG; Verón, SR; Baldi, G & Baeza, S. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia* X(2): 47 – 61.

Revista Verde. 2014. La estructura del drenaje es clave para el desempeño de la soja en campos bajos. 38: 92-96.

Saizar, C; Boccardi, L; Clemente, J; Dabezies, M; Ferrari, G; Míguez Carames, D; Teixeira de Mello, F & Tana, J. 2010. Línea de base para evaluar el impacto de una planta de celulosa en el Río Uruguay. *INNOTEC* 5: 11-22.

Scarlato, G. 2003. Gestión ambiental de los humedales de la Cuenca de la Laguna Merín 28. Ordenamiento territorial y desarrollo sostenible. Los problemas en el caso del arroz en Uruguay. *Montevideo. CIEDUR*, 34.

Sit, V & Taylor, B. 1998. Statistical methods for adaptive management studies. British Columbia, Ministry of Forests Research Program.

Six, J; Callewaert, P; Lenders, S; De Gryze, S; Morris, SJ; Gregorich, EG; ... & Paustian, K. 2002. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society of America journal*, 66(6): 1981-1987.

Studdert, GA; Echeverría, HE & Casanovas, EM. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Science Society of America Journal* 61(5): 1466-1472.

Studdert, G & Echeverria, H. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil science society of America Journal* 64: 1496-1503.

Swenson, LJ; Dahnke, WC & Patterson, DD. 1984. Sampling for soil testing. North Dakota State University, Department of Soil Sciences, Res. Rep. No. 8.

Terra, J; Pravia, V; Roel, A & Correa, J. 2009. Impacto de la intensidad de uso del suelo sobre la productividad del cultivo de soja en lomadas del este. *Actividades de difusión N°580, INIA Treinta y Tres*. Pp. 1-18.

Tilman, D; Cassman, K; Matson, P; Naylor, R & Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 468: 671 - 677.

Valderrama, JC. 1981. The simultaneous analysis of total N and total P in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109-122.

Vernetti Jr, F; da Silva, A & Braga, L. 2009. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. *Ciência Rural, Santa Maria* 39(6): 1708-1714.

Volante, JN; Alcaraz-Segura, D; Mosciaro, MJ; Viglizzo, EF & Paruelo, JM. 2011. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154, 12-22.

Walkley, A & Black, IA. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.

