



Síntesis emergética como herramienta de comparación entre dos sistemas de producción agrícola argentinos: chaco seco y pampa ondulada

Mariana Totino

Universidad de Buenos Aires, Argentina

Mariana_totino@yahoo.com.ar

Fecha de recepción: 09/07/2014. Fecha de aceptación: 22/02/2016

Resumen

El sistema agropecuario en Argentina fue uno de los principales motores de transformación de los ecosistemas nativos, constituyéndose en una importante actividad económica. La región pampeana posee una tradición agrícola de más de un siglo, sustentada por los suelos más fértiles del país. Pero a partir de la década de los 90, junto a la entrada de la soja transgénica de la mano de gran cantidad de insumos, este modelo de agricultura industrial fue superando los límites de la "zona núcleo" para avanzar hacia zonas con diversas características ambientales. La propuesta de esta investigación es rastrear todos los recursos y energía utilizados para producir soja, transformándolos a una unidad común que es la energía solar. A partir de esta conversión es posible comparar la producción de soja en una localidad de la Pampa Ondulada (Rojas) con una en el Chaco Seco (Charata). También se calculan índices que informan sobre distintas características del proceso.

A pesar de las diferencias ambientales entre ambos sitios asociadas a la mayor fragilidad ambiental de la llanura chaqueña, relacionadas principalmente con una menor disponibilidad de agua, altas temperaturas y suelos un poco menos fértiles que los de la llanura pampeana, prácticamente no se encontraron diferencias en cuanto a los aportes del ambiente en ambas localidades. Se analizan las posibles causas de dicho resultado.

Palabras clave Síntesis Emergética, soja, agricultura industrial, llanura chaqueña, llanura pampeana.

Abstract

The agricultural system in Argentina was one of the main drivers of native ecosystems transformation, becoming an important economic activity. The Pampas region has an agricultural tradition of over a century, underpinned by the most fertile soil in the country. But from the 90s on, with the entrance of GM soybean and the very large number of its inputs, this model of industrial agriculture pushed the boundaries of the "core area" toward areas with different environmental characteristics. The proposal of this research is to track all the resources and energy used to produce soybean, transforming them to a common unit, which is solar energy. From this conversion soybean production at a location of the Rolling Pampa (Rojas) may be compared to one at the Chaco Seco (Charata). Indices that provide information on specific features of the process are also calculated.

Despite the environmental differences between the two sites associated with greater environmental fragility of the Chaco plain, mainly related to reduced availability of water, high temperatures and slightly less fertile soils than those of the Pampas, virtually no difference was found in regarding the contributions of the environment in both locations. Possible causes of this result are discussed.

Key Words: Emergy Synthesis, soybean, industrial agriculture, chaco plain, pampa plain.

JEL Codes: Q15, Q57.

1. Introducción

Siempre se ha relacionado a la Argentina con una larga tradición agrícola, apodándosele "el granero del mundo" y contando con suelos que se encuentran entre los más fértiles del

planeta. Las primeras experiencias en el ámbito rural pueden encontrarse alrededor de 1880 en la llanura pampeana, con la cría de ganado, y combinada con éste, a partir de 1900, la agricultura. En esta región los procesos productivos se fueron organizando



de manera compleja, conviviendo las pequeñas unidades adquiridas por inmigrantes con las de gran tamaño (Barsky 1997). A partir de allí, con ciertos períodos más centrados en la ganadería, otros en la agricultura y algunos en ambos, y con variaciones en los cultivos sembrados, la actividad productiva de la Pampa Húmeda se ha mantenido hasta hoy, momento en que la soja es el cultivo “estrella” debido a su alta rentabilidad en el mercado internacional.

Muy distinta es la historia de la llanura chaqueña. Recién en las primeras décadas del siglo XX se consolida la figura de los puestos ganaderos (Morello et al 2007). Para estos autores en ese momento se hacen evidentes los primeros y profundos cambios en los pastizales chaqueños, muy afectados por el pastoreo de ungulados domésticos (bovinos y caprinos). La explotación a gran escala del bosque de maderas duras comienza alrededor de 1960, con el establecimiento de “obrajes”, sistemas semi esclavistas en los cuales los hacheros entregaban al contratista rollizos, leña y postes para la fábrica de tanino, los durmientes del FFCC, las panaderías, los aserraderos, etc. (Morello et al. 2007). Al mismo tiempo, el algodón se instala fuertemente en los pastizales. Pero es a partir de la década del 90 cuando comienzan a habilitarse tierras por medio de técnicas de desmonte de gran impacto, que no aprovechan la madera porque se acumula toda la biomasa eliminada y se quema. Se instala la soja como cultivo predominante, utilizando el mismo modelo de agricultura dependiente de grandes cantidades de insumos externos, “pampeanizando” el Chaco (Pengue 2005).

Dado que la actividad agrícola es tan importante y la superficie con soja es cada vez más extensa, es pertinente intentar evaluar las contribuciones del ambiente al proceso de producción, debido a que las mismas no están contabilizadas dentro de los cálculos de rendimiento o económicos. Para ello se utiliza un enfoque sistémico, ya que el objeto de estudio es un sistema complejo, con numerosas interrelaciones y flujos entre el ser humano y el ambiente. El método

utilizado es la Síntesis Emergética (Odum 1996), la cual es sólo uno de los varios análisis que deben realizarse para evaluar los impactos de los productos o procesos sobre el ambiente. La síntesis Emergética es útil como herramienta para evaluar el aporte del ambiente a un determinado proceso. Pero Ulgiati et al (2006) señalan que en ninguna circunstancia un único método es suficiente para proveer información exhaustiva en una evaluación de impacto ambiental. Se debe destacar que este trabajo es una porción de una tesis de Doctorado (Totino 2015), en la cual se combinan los resultados obtenidos a través de este método con otros aportados por metodologías complementarias.

2. Materiales y métodos

El objetivo de este trabajo es evaluar los aportes del ambiente al proceso de producción de soja en dos localidades representativas: una en la llanura chaqueña y otra en la pampeana, las cuales presentan condiciones ambientales distintas pero con el mismo proceso de producción. La primera tiene al agua como factor limitante principal, con régimen de lluvias menor, temperaturas más altas, suelos menos fértiles, además de encontrarse a una distancia bastante mayor del puerto de comercialización.

En este estudio el sistema analizado es la parcela cultivada con soja y los flujos que se estudian incluyen los ingresos de servicios gratuitos de la naturaleza y los comerciales requeridos para la producción, mientras que las salidas del sistema son las cosechas, los desechos y las pérdidas de calor.

2.1. Áreas de estudio

Se seleccionaron dos localidades agrícolas: una en la Región Pampeana (Rojas, Provincia de Buenos Aires) y otra en la Región Chaqueña (Charata, Provincia de Chaco), con el objetivo de compararlas en cuanto a sistemas productivos a pequeña/mediana escala. La ventana temporal es de un año, tomando como referencia la campaña 2009-2010. Rojas se encuentra en la Ecorregión Pampa, Subregión Pampa Húmeda (Matteucci 2012).



En esta zona se encuentran pastizales como vegetación natural predominante, pero presenta una larga tradición de agricultura, y la vegetación nativa sólo se encontraba hasta hace poco en banquinas o debajo de los alambrados. Desde el avance de la agricultura industrial a partir del ingreso de la soja transgénica a fines de la década del 90, la continua aplicación de glifosato (el herbicida al cual es resistente la soja modificada genéticamente), ha eliminado todo vestigio de vegetación natural (Matteucci 2012).

En el Chaco Seco el régimen pluviométrico es muy irregular y los suelos de la zona son fértiles debido a su origen loessico, al igual que en la llanura pampeana. La precipitación media anual oscila entre 650 y 900 mm (Morello 2012), y si bien este régimen de precipitaciones permite la agricultura de secano, el agua es un factor limitante y no son raros los años de sequía.

Al encontrarse la ciudad de Charata en una llanura de origen fluvial y eólico, los suelos resultan aptos para la agricultura, la cual presenta un predominio del cultivo del algodón hasta la década del 90, cuando comienza a expandirse el cultivo de soja, proveniente de la región pampeana, siendo dicha expansión la responsable de grandes cambios ambientales, sociales y económicos.

Originalmente, la vegetación esencial es el bosque alto y abierto, intercalado con sabanas que poseen parches de arbustos y bosques muy inflamables. Actualmente, el paisaje se encuentra muy antropizado, presentando una matriz de parcelas agrícolas con parches de bosques degradados (Morello 2012).

La principal diferencia entre ambas localidades es la vegetación nativa y la historia de uso: la agricultura en la región pampeana avanzó sobre pastizales y tiene una historia mucho más antigua de tradición agrícola. La implementación de la agricultura como actividad importante en la región pampeana se da entre 1890 y 1910 (Solbrig 1997), mientras que en la región chaqueña la transformación es más reciente. En este caso, el fenómeno llamado pampeanización del Chaco ocurre a partir la década de 1970 (Morello et al. 2007), y si bien los primeros sectores transformados para uso agrícola fueron las sabanas, posteriormente los cultivos avanzaron sobre los bosques, disminuyendo sensiblemente el “bosque de tres quebrachos”, el cual es el ecosistema predominante en el borde oriental del Chaco Seco, en contacto con el Chaco Húmedo, donde se asienta Charata. En él coexisten el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), el quebracho colorado santiagueño

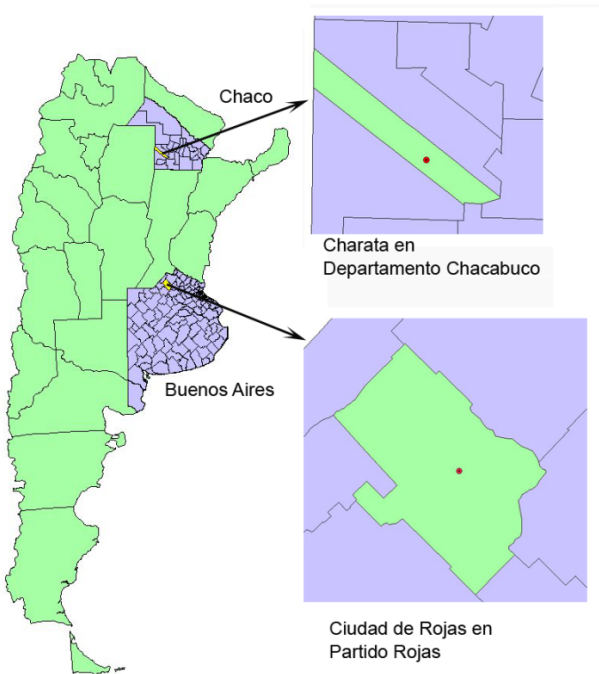


Figura 1: ubicación de los sitios de estudio

El clima es subtropical húmedo, con precipitaciones todo el año (Morello y Matteucci 1997). Las precipitaciones medias anuales varían entre 1000 y 1200 mm. En cuanto a los suelos, se considera que la Pampa Ondulada tiene los de mejor calidad de la Ecorregión, con un potencial natural netamente agropecuario (Matteucci 2012).

La localidad de Charata es la cabecera del departamento Chacabuco, al SO de la provincia de Chaco. Se encuentra dentro de la Ecorregión Chaco Seco, Subregión Chaco Semiárido (Morello 2012).



(*Schinopsis lorentzii*) y el colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*) (Adámoli et al, 2011).

2.2. Síntesis emergética

El método de Síntesis Emergética desarrollado por Odum (1996) es una herramienta cuantitativa para determinar el valor ambiental de todos los inputs que se requieren para generar determinado producto o servicio (flujos de materiales, energía, dinero, información, etc.). Los inputs se miden en unidades de energía solar equivalente (Ulgiati et al. 2011), la emergencia solar, que se expresa en emjoules solares (seJ). La puesta en común de unidades tan dispares posibilita la comparación entre distintos flujos, lo cual permite generar indicadores que contribuyan a una mayor comprensión del sistema analizado. La Emergencia, entonces, es la cantidad de energía disponible (exergía) que fue utilizada directa o indirectamente para generar algún producto o servicio (Ulgiati 2000; Brown et al. 2004); es decir, que fue degradada a lo largo de todas las transformaciones ocurridas. También puede pensarse a la emergencia como “memoria energética” (Odum 1986, 1988, 1996; Scienceman 1987). Es una manera de cuantificar el soporte que brinda el ambiente, sin centrarse en las preferencias humanas o las eventualidades del mercado. Para poder transformar los flujos expresados en distintas unidades de materiales o energía se utiliza un factor de equivalencia denominado transformicidad (Tr , seJ/unidad), el cual informa qué cantidad de energía con calidad equivalente a la solar es necesaria para generar una unidad de energía o materiales de mayor calidad (Lomas et al. 2007). La Transformicidad, definida como emergencia por unidad de energía, es un ejemplo de Valor de Emergencia por Unidad (UEV por sus siglas en inglés) (Odum et al. 2000).

2.2.1 Abordaje sistémico y lenguaje de sistemas

Los ecosistemas se auto-organizan y autorregulan, poseen una organización jerárquica y son termodinámicamente abiertos (Campbell et al. 2005; Pulselli et al 2011, Brown et al. 2001). Esto significa que

intercambian materia y energía con su entorno, lo cual se refleja en una gran cantidad de flujos que circulan continuamente dentro y a través del sistema. De esta variedad de flujos se eligen aquellos que resulten relevantes para el análisis y los objetivos planteados, y pueden representarse esquemáticamente por medio de un diagrama de flujos, utilizando el lenguaje sistémico desarrollado por Odum (1986, 1988, 1996, 2000). Es muy importante definir los límites del sistema, ya que de esta manera se establece qué entra y qué sale del mismo, además de las circulaciones internas.

En la Figura 2 se observa a la izquierda el aporte de la naturaleza, representado por la lluvia, el N_2 de la atmósfera y el sol. En el límite superior se observan todas las entradas provenientes de la economía y que se obtienen a partir de dinero. A la derecha se grafican las salidas del sistema, tanto las deseadas (producto a cambio de dinero) como las no deseadas (emisiones y efluentes). Por último, las salidas por el extremo inferior se refieren a las pérdidas térmicas de los sistemas vivos.

La metodología general que explica el análisis emergético ha sido descrita en detalle por Odum en su libro *Environmental Accounting* (1996) (Brown et al 2001), siendo revisada posteriormente por Brown y Ulgiati (2004a y b, 2010).

A partir del diagrama se construyó una tabla de datos con todos los ingresos al sistema, y luego a través de la transformicidad se convirtieron a unidades emergéticas (Tablas 2 y 4). Al sumar estas últimas se obtuvo el flujo total de emergencia del proceso estudiado. En el caso de las entradas gratuitas provenientes de la naturaleza, sólo se contabiliza la mayor (precipitaciones).

2.2.2 índices

El último paso fue el cálculo de algunos índices emergéticos que aportan cierta información sobre la eficiencia del proceso, el aporte de los recursos renovables o la emergencia por área, entre otros (Tablas 3 y 5).

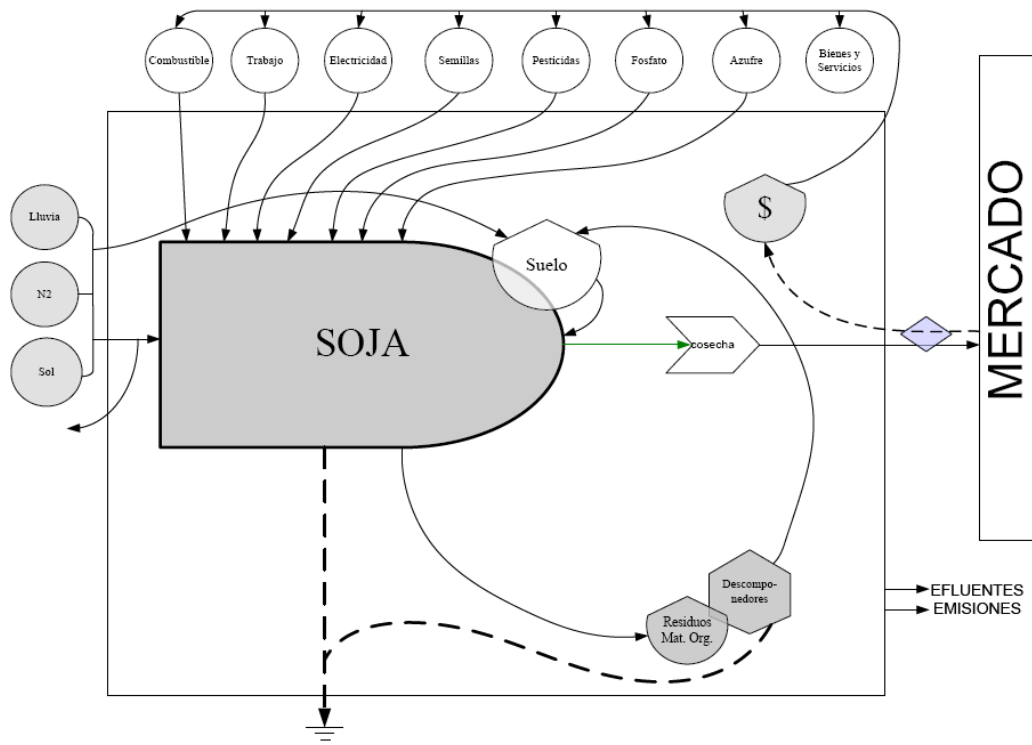


Figura 2: diagrama de flujos de la producción de soja en Rojas y Charata

Tabla 1: Índices empleados para el cálculo energético de la producción de soja

ÍNDICE	FÓRMULA	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Flujo de energía renovable local	R	seJ/año	Entrada de energía renovable al sistema
Flujo de energía no renovable local	N	seJ/año	Entrada de energía no renovable al sistema desde fuentes internas al mismo
Flujo de energía importado	F	seJ/año	Entrada de energía desde fuentes externas (generalmente con un intercambio monetario)
Trabajo y servicios de la economía humana	T&S	seJ/año	Entrada de energía al sistema basada en los costos monetarios de trabajo y servicios
Costo energético de producción (U)	$R+N+F+T&S$	seJ/año	Costo en energía de la producción del sistema
Fración renovable de la energía usada (%R)	R/U	-	Qué porción de la energía total que ingresa es renovable
Índice de apropiación y explotación de energía (EYR)	$U/F+T&S$	-	Mide la contribución potencial de un proceso al conjunto del sistema debida a la explotación de recursos locales
Índice de inversión de energía (EIR)	$(F+T&S)/(R+N)$	-	Relaciona fuentes externas al sistema y fuentes internas al mismo. Mide la eficacia en el uso de la energía invertida en un proceso
Índice de carga ambiental (ELR)	$(N+F+T&S)/R$	-	Índice de stress ambiental debido a una producción. Indica la presión de un proceso de transformación sobre el medio ambiente.
Empower Density (ED)	$U/\text{área}$	-	Mide la cantidad de energía por unidad de área en cierto tiempo.

Fuente: Elaboración propia en base a Lomas, et al. 2007



El índice de apropiación y explotación de emergía (EYR=Emergy Yield Ratio) mide la capacidad de un proceso para explotar los recursos locales invirtiendo recursos externos. Es decir, a mayor valor de EYR, más capacidad del proceso de obtener recursos de la naturaleza por unidad de inversión económica. El valor más bajo que puede presentar este índice es 1, lo cual indicaría que la emergía que se genera es la misma que lo que se invierte desde fuera del sistema (Franzese et al 2013).

El índice de carga ambiental (ELR=Environmental Loading Ratio) se utiliza para comparar la cantidad de emergía no renovable sumada a las fuentes externas al sistema, con la cantidad de emergía renovable local. Si no existe ningún flujo externo, $ELR=0$, y la emergía renovable local conduce el funcionamiento del ecosistema. En cambio, la emergía importada no renovable impulsa el desarrollo de sitios diferentes, cuya distancia al ecosistema natural puede ser indicado por el ELR. Cuanto mayor el ELR, mayor la diferencia con el proceso natural que podría haberse desarrollado localmente sin la inversión externa no renovable. De alguna manera, el ELR es una medida del disturbio a las dinámicas ambientales locales generadas por fuentes externas (Franzese et al 2013).

La Renovabilidad (%R) indica qué porcentaje de los ingresos al sistema provienen de fuentes renovables.

El índice de inversión de emergía (EIR=Emergy Investment Ratio) muestra la relación entre las entradas provenientes de la economía en relación con los recursos gratuitos de la naturaleza utilizados por el sistema de producción (Franzese et al 2013).

La densidad emergética por tiempo (ED=Empower Density) mide la cantidad de emergía invertida por unidad de área en cierto tiempo. En nuestro caso el área es 1 ha y el tiempo 1 año. ED sugiere que la tierra es un factor limitante del proceso, es decir, se requeriría una cierta cantidad de tierra de soporte alrededor del sistema, para que éste sea sustentable (Franzese et al. 2013).

2.3. Obtención de los datos empleados

Esta investigación se realizó a pequeña escala, por lo tanto se hizo trabajo de campo entrevistando a productores, con la finalidad de conocer en detalle los flujos del sistema. En Rojas se contactaron 4 productores y en Charata 3, debido a la dificultad para conseguir propietarios dispuestos a brindar información sobre sus producciones. Se promediaron los datos para realizar los cálculos y todos los detalles de los mismos se encuentran en los Anexos 1 y 2. En los casos en que ciertos datos no eran provistos por ellos, se buscó en bibliografía aquellas investigaciones sobre cultivos de soja y un modelo agrícola similar, como es el caso de Brasil (Cavalett 2008; Franzese et al. 2013).

3. Resultados y discusión

Tanto los flujos emergéticos (Tablas 2 y 4) como los índices emergéticos (Tablas 3 y 5) resultaron bastante similares para Charata y Rojas, si bien los de Rojas señalarían un impacto levemente mayor.

Los resultados en las Tablas 2 y 4 fueron calculados teniendo en cuenta el trabajo y servicios por un lado y sin tenerlos en cuenta por otro. Esto provee resultados que incluyen el aporte de la economía, en el primer caso, y una contabilización puramente biofísica en el segundo. Para el resto de los cálculos y la discusión se tuvieron en cuenta sólo los resultados que incluyen trabajo y servicios, ya que son entradas indispensables, sin las cuales el sistema no está correctamente representado.

Las Tablas 2 y 4 muestran que los principales flujos que intervienen en el proceso de producción de soja son los mismos para ambas localidades, si bien presentan leves diferencias. La principal contribución está dada por los Servicios, con un 40% para Charata y un 41% para Rojas, seguida por el potencial químico de las precipitaciones (28,1% para Charata y 26,5% para Rojas). Por último se encuentra la pérdida de materia orgánica del suelo, representando un 23% en Charata y un 21% en Rojas.



Tabla 2: Flujos energéticos de CHARATA

Flujos Energéticos Global Baseline= 15,83E+24 (*)							
#	Items	Unidades	Valor	Transformicidad (seJ/u-nidad)	Refs. Para Transf.	Energía (seJ/año)	% de Energía (con T&S)
<i>Inputs Renovables</i>							
1	Radiación solar	J/ha/yr	5,55E+13	1,00E+00	[a]	5,55E+13	0,95%
2	Precipitaciones (Potencial Químico)	J/ha/yr	5,24E+10	3,05E+04	[b]	1,60E+15	28,09%
3	Nitrógeno (N ₂) fijado de la atmósfera	kg/ha/año	6,00E+01	6,38E+12	[g]	3,83E+14	6,73%
<i>Inputs No renovables</i>							
4	Pérdida neta de materia orgánica del suelo	J/ha/yr	1,08E+10	1,24E+05	[d]	1,33E+15	23%
<i>Inputs Importados</i>							
5	Nafta (sin plomo)	J/ha/yr	2,34E+07	1,11E+05	[b]	2,58E+12	0%
6	Gasoil	J/ha/yr	1,16E+09	1,11E+05	[b]	1,28E+14	2%
7	Electricidad	J/ha/yr	2,55E+07	2,81E+05	[d]	7,15E+12	0%
8	Agua para pulverización de agroquímicos	g/ha/yr	4,00E+05	7,61E+05	[e]	3,04E+11	0%
9	Semillas	g/ha/yr	6,90E+04	2,73E+09	[g]	1,88E+14	3%
10	Fosfato (PO ₄)	g/ha/yr	0,00E+00	6,54E+09	[b]	0,00E+00	0%
11	Azufre (S)	g/ha/yr	0,00E+00	9,13E+07	[c]	0,00E+00	0%
12	Fungicidas	g/ha/yr	4,60E+02	2,49E+10	[d]	1,15E+13	0%
13	Insecticidas	g/ha/yr	5,00E+02	2,49E+10	[d]	1,25E+13	0%
14	Herbicidas	g/ha/yr	4,20E+03	2,49E+10	[d]	1,05E+14	2%
15	Maquinaria Agrícola (acero)						
	<i>Tractores</i>	g/ha/yr	9,10E+02	1,13E+10	[d]	1,03E+13	0%
	<i>Cosechadora</i>	g/ha/yr	1,07E+03	1,13E+10	[d]	1,20E+13	0%
	<i>Sembradora</i>	g/ha/yr	1,26E+02	1,13E+10	[d]	1,42E+12	0%
	<i>Pulverizadora</i>	g/ha/yr	3,21E+02	1,13E+10	[d]	3,63E+12	0%
16	Trabajo Humano	J/ha/año	1,50E+06	4,05E+06	[f]	6,08E+12	0%
17	Servicios Anuales en la Producción Agrícola	\$/ha/yr	9,76E+02	2,33E+12	[f]	2,27E+15	40%
	EMERGÍA TOTAL con Trabajo y Servicios					5,69E+15	
	EMERGÍA TOTAL sin Trabajo y Servicios					3,41E+15	

[a] Por definición, [b] Odum, H.T. 2000, [c] Martin et al., 2006, [d] Brown y Ulgiati, 2004, [e] Buenfill, 2000, [f] Brandt-Williams, 2002, [g] Cavalett, 2008, (*)Campbell, et al., 2005.

Tabla 3: Índices Energéticos de Charata

Índice	Soja (con T&S)	Soja (sin T&S)	Unidad
Recursos Renovables de la naturaleza (R)	1,98E+15	1,98E+15	seJ ha ⁻¹ yr ⁻¹
Recursos no renovables de la naturaleza (N)	1,33E+15	1,33E+15	seJ ha ⁻¹ yr ⁻¹
Inputs tomados desde fuera del sistema (F)	4,82E+14	4,82E+14	seJ ha ⁻¹ yr ⁻¹
Trabajo y servicios de la economía humana (T&S)	2,28E+15	---	seJ ha ⁻¹ yr ⁻¹
Energía Total (U)	5,69E+15	3,41E+15	seJ ha⁻¹ yr⁻¹
Transformidad Solar	1,45E+05	8,45E+04	seJ J ⁻¹
Índice de apropiación y explotación de energía (EYR)	2,06	7,08	
Índice de carga ambiental (ELR)	2,07	0,92	
Índice de inversión de energía (EIR)	0,83	0,15	
Renovabilidad (%R)	35%	58%	
Energía por unidad de tiempo y área (ED)	5,69E+11	3,41E+11	seJ m ⁻² yr ⁻¹



Tabla 4: Flujos energéticos de ROJAS

Flujos Energéticos		Global Baseline=					
15,83 (*)							
#	Items	Unidades	Valor	Transformicidad (seJ/unidad)	Refs. Para Transf.	Energía (seJ/año)	%de Energía (con T&S)
<i>Inputs Renovables</i>							
1	Radiación solar	J/ha/yr	5,13E+13	1,00E+00	[a]	5,13E+13	0,73%
2	Precipitaciones (Potencial Químico)	J/ha/yr	5,58E+10	3,05E+04	[b]	1,70E+15	26,47%
3	Nitrógeno (N2) fijado de la atmósfera	kg/ha/año	6,00E+01	6,38E+12	[g]	3,83E+14	5,95%
<i>Inputs No renovables</i>							
4	Pérdida neta de materia orgánica del suelo	J/ha/yr	1,08E+10	1,24E+05	[d]	1,33E+15	21%
<i>Inputs Importados</i>							
5	Nafta (sin plomo)	J/ha/yr	4,67E+07	1,11E+05	[b]	5,17E+12	0%
6	Gasoil	J/ha/yr	1,16E+09	1,11E+05	[b]	1,28E+14	2%
7	Electricidad	J/ha/yr	1,60E+07	2,81E+05	[d]	4,48E+12	0%
8	Agua para pulverización de agroquímicos	g/ha/yr	4,00E+05	7,61E+05	[e]	3,04E+11	0%
9	Semillas	g/ha/yr	6,90E+04	2,73E+09	[g]	1,88E+14	3%
11	Fosfato (PO4)	g/ha/yr	4,30E+04	6,54E+09	[b]	2,81E+14	0%
12	Azufre (S)	g/ha/yr	2,10E+04	9,13E+07	[c]	1,92E+12	4%
13	Fungicidas	g/ha/yr	3,00E+02	2,49E+10	[d]	7,47E+12	0,0%
14	Insecticidas	g/ha/yr	5,00E+02	2,49E+10	[d]	1,25E+13	0%
15	Herbicidas	g/ha/yr	5,00E+03	2,49E+10	[d]	1,25E+14	0%
16	Maquinaria Agrícola (acero)						
	<i>Tractores</i>	g/ha/yr	9,10E+02	1,13E+10	[d]	1,03E+13	0%
	<i>Cosechadora</i>	g/ha/yr	1,07E+03	1,13E+10	[d]	1,20E+13	0%
	<i>Sembradora</i>	g/ha/yr	1,26E+02	1,13E+10	[d]	1,42E+12	0%
	<i>Pulverizadora</i>	g/ha/yr	3,21E+02	1,13E+10	[d]	3,63E+12	0%
17	Trabajo Humano	J/ha/año	1,50E+06	4,05E+06	[f]	6,08E+12	0%
18	Servicios Anuales en la Producción Agrícola	\$/ha/yr	1,12E+03	2,33E+12	[f]	2,61E+15	41%
	EMERGÍA TOTAL con Trabajo y Servicios					6,43E+15	
	EMERGÍA TOTAL sin Trabajo y Servicios					3,82E+15	

[a] Por definición, [b] Odum 2000, [c] Martin et al. 2006, [d] Brown y Ulgiati 2004, [e] Buenfill 2000 [f] Brandt-Williams 2002, [g] Cavalett 2008, (*)Campbell et al. 2005.



TABLA 5: Índices Emergéticos de Rojas

Índice	Soja (con T&S)	Soja (sin T&S)	Unidad
Recursos Renovables de la naturaleza (R)	2,09E+15	2,09E+15	seJ ha-1 yr-1
Recursos no renovables de la naturaleza (N)	1,33E+15	1,33E+15	seJ ha-1 yr-1
Inputs tomados desde fuera del sistema (F)	7,81E+14	7,81E+14	seJ ha-1 yr-1
Trabajo y servicios de la economía humana (T&S)	2,62E+15	---	seJ ha-1 yr-1
<i>Energía Total (U)</i>	<i>6,43E+15</i>	<i>3,82E+15</i>	<i>seJ ha-1 yr-1</i>
Transformidad Solar	1,14E+05	9,44E+04	seJ J-1
Índice de apropiación y explotación de energía (EYR)	2,20	4,88	
Índice de carga ambiental (ELR)	2,04	1,01	
Índice de inversión de energía (EIR)	0,86	0,23	
Renovabilidad (%R)	33%	55%	
Energía por unidad de tiempo y área (ED)	6,43E+11	3,82E+11	seJ m-2 yr-1

La Transformidad Solar (energía total invertida en el proceso dividida por el contenido energético del producto) fue de $1,45E+05$ seJ/J para Charata y $1,14E+05$ seJ/J para Rojas. Estos valores son similares, si bien indicarían que la producción de soja en Rojas requiere un aporte ambiental levemente menor para obtener un Joule de producto. Este resultado se relaciona con la mayor productividad y por lo tanto contenido energético por hectárea que se obtiene en Rojas. Franzese et al (2011) analizaron la producción de soja bajo el modelo agrícola industrial en Brasil, obteniendo un valor de transformidad de $1,04+05$ seJ/J, el cual es del mismo orden de magnitud que los calculados en esta tesis y bastante cercano al de Rojas, lo cual podría indicar la similitud de entradas en el sistema productivo analizado, independientemente del lugar donde se lleve a cabo.

El Índice de apropiación y explotación de energía (EYR) de Charata fue ligeramente menor que el de Rojas, pero ambos tienen un valor de 2 o cercano, lo cual indicaría que por cada unidad invertida desde el exterior, se obtienen aproximadamente dos unidades de producto.

Para Charata el Índice de carga ambiental

(ELR) es 2,07 mientras que para Rojas es 2,04. Esto indica que la fracción no renovable de la energía total es aproximadamente 2 veces mayor que la porción renovable en ambas localidades.

Se observa que para Charata más de la mitad del proceso (un 65%) está sostenido por fuentes no renovables, presentando Rojas el valor muy cercano de 67%.

En cuanto al Índice de inversión de energía (EIR), para las dos localidades el valor es inferior a 1, aunque bastante cercano (0,83 para Charata y 0,86 para Rojas) lo cual indica que si bien los inputs gratuitos de la naturaleza son mayores que los comprados, el sistema está muy cerca de utilizar la misma proporción de entradas compradas y gratuitas.

El valor de energía por unidad de tiempo y área (ED) para Rojas ($6,43E+11$) fue levemente superior al de Charata ($5,69E+11$), pero ambos son muy similares, del mismo orden de magnitud. Esto quiere decir que por cada hectárea que produce soja se invierten aproximadamente $6,00E+11$ seJ cada año.

La única diferencia que se observa es que en Charata los productores no utilizan ningún tipo de fertilizante. En las cuentas totales esto



se traduce en un menor ingreso de inputs externos comprados con dinero, y se refleja en esas pequeñas diferencias de los índices. Las implicancias de esta práctica podrían ser importantes, ya que el cultivo de soja posee alto requerimiento de nutrientes del suelo, y si éstos no se reponen, en el mediano plazo las consecuencias de la disminución de dichos nutrientes se verían reflejadas en los rendimientos. Sabemos que la agricultura intensiva en esta región del Chaco es mucho más reciente que en la llanura pampeana, y los productores no perciben la necesidad de aplicar fertilizantes. Todos ellos (de ambos sitios) manifestaron hacer siempre siembra directa y rotaciones entre cultivos, pero por más que se reincorporen ciertos nutrientes provenientes de la MO de los rastrojos, al cosechar la soja se pierde un alto porcentaje de ellos. Según Cruzate y Casas (2012) los principales requerimientos nutricionales de la soja son (en kg/tn de grano): Potasio: 16,96; Calcio: 2,78; Fósforo: 5,66 y Azufre: 3,08. El requerimiento de Nitrógeno es el más alto (51,89 kg/tn de grano) pero la mayor parte se obtiene a partir de la fijación biológica del N atmosférico por las bacterias simbióticas. Esto implica que luego de cada cosecha y con un rendimiento de 3 tn/ha, se pierden del suelo aproximadamente 240 kg de nutrientes/ha. Este concepto, relacionado con la cantidad de nutrientes extraídos del suelo por los productos exportados, ha sido llamado "suelo virtual" (Pengue 2009).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos con la metodología empleada muestran que prácticamente no existen diferencias entre ambas localidades. Pero es importante aclarar que la Síntesis Emergética por sí sola aporta una mirada incompleta del sistema analizado. Este trabajo es parte una tesis de Doctorado, en la cual se emplea el método SUMMA desarrollado por Ulgiati et al (2006), analizando el ciclo de vida de la producción de soja en ambas localidades y utilizando también el Análisis de Flujos de Materiales y la Energía Incorporada. Este tipo de abordaje

permite una perspectiva más amplia del sistema bajo estudio.

Con la Síntesis Emergética se evalúan las entradas y salidas del sistema, sin tener en cuenta, por ejemplo, sobre qué ambientes avanzó la agricultura y cuáles fueron los servicios ambientales eliminados. El modo de hacer agricultura con fuerte dependencia de insumos externos fue exportado de la llanura pampeana hacia la chaqueña, sin una evaluación previa de la vulnerabilidad de los ecosistemas y de disponibilidad de recursos, tales como el agua.

Esta metodología permitió entender que para el tipo de producción agrícola industrial la mayor carga ambiental se encuentra en los servicios anuales de la producción agrícola, seguida por las precipitaciones y la pérdida de materia orgánica del suelo. A partir de estos resultados podríamos pensar de qué manera reducir los valores emergéticos, lo cual podría lograrse utilizando menos servicios provistos por el sistema económico, como por ejemplo disminuir la utilización de agroquímicos o reemplazarlos por otras alternativas menos costosas ambientalmente. También este análisis nos alerta sobre la importancia de la contribución de los recursos naturales tales como las precipitaciones y la materia orgánica del suelo.

Con respecto a la captura de datos, existen dos cuestiones a considerar. Por un lado, a nivel país es muy difícil contar con valores sobre los movimientos dentro del sistema agrícola, tanto económicos, como de energía o materiales. Si a escala nacional estos datos son bastante escasos, a nivel predial o regional son prácticamente inexistentes. Por otra parte, en el momento de recolectar los datos a campo los productores acababan de atravesar una crisis nacional, debida a las retenciones a la producción. Es por eso que no se mostraban muy dispuestos a dar algunos valores, como por ejemplo la cantidad de trabajadores empleados y sus sueldos. Existen también dudas con respecto a los datos acerca de las semillas, debido al conflicto por las regalías, y la prohibición de guardar las "bolsas blancas" (semillas de una cosecha que serán sembradas en la



campaña siguiente). Plantearon que las guardan por un par de años, pero que después ya no rinden igual y que por eso se ven obligados a comprarlas nuevamente. Por esta razón se utilizó el dato de Brasil (Cavalett 2008; Franzese et al. 2013) para indicar cuántos kg de semillas se utilizan por hectárea. El precio fue proporcionado por la empresa semillera Don Mario, la cual opera en ambas zonas de estudio (<http://www.donmario.com/v3/index.html>). Si bien algunos años no se compran nuevas semillas, para realizar los cálculos se trabajó bajo el supuesto de una compra por campaña.

Las transformicidades correspondientes a los distintos flujos del sistema generalmente se toman de investigaciones previas, a fin de no tener que calcularlas nuevamente. Si bien esto se hace para ahorrar tiempo, a veces se corre el riesgo de utilizar transformicidades calculadas para situaciones muy diferentes de la estudiada, o provenientes de cálculos antiguos y desactualizados. Por lo tanto se requiere una búsqueda exhaustiva de estos valores en la bibliografía cuando no es posible calcularlos, pero a veces en los trabajos no se especifica claramente de qué manera fueron calculadas, y no siempre se sabe con certeza si esos cálculos se ajustan a nuestro sistema en estudio. Por otra parte, la obtención de algunos datos básicos tales como tasa de erosión, resultó imposible para los sitios analizados, ya sea por limitaciones operativas o por ausencia de datos para la región o el país. En estos casos fue necesario utilizar la información proveniente de trabajos realizados en Brasil (Cavalett 2008; Franzese et al. 2013).

Una diferencia significativa entre ambos sitios es la distancia al puerto de exportación de granos: mientras que Rojas está a pocos kilómetros de Rosario (170 km aproximadamente) y cuenta con el acceso a dicha ciudad por medio de una autopista, el transporte desde Charata es mucho más costoso debido a la mayor distancia que debe recorrerse (alrededor de 815 km). Esta diferencia en el costo de transporte de los granos producidos no está incluida en el

análisis emergético porque ocurre fuera de los límites arbitrarios elegidos para el sistema, pero es importante tener en cuenta que debe contabilizarse dentro del ciclo de vida de la producción de soja. Esto sustenta la necesidad de complementar la Síntesis Emergética con otros métodos, ya que como pudimos ver, los resultados obtenidos para ambas localidades son similares, pero hay varios factores que no se están considerando. Por ejemplo, se observa que en Charata los rendimientos son un poco menores que en Rojas (aproximadamente 700 kg de diferencia), y que los costos monetarios de producción (principalmente debido al transporte) son mayores. Esto podría estar relacionado con los tamaños de las parcelas: la superficie promedio de un predio destinado a soja en la localidad de Chaco fue 313 ha, mientras que en Rojas fue 75 ha. Si bien el número total de productores muestreados es pequeño, se eligieron fincas representativas del sistema productivo de cada zona. Estas diferencias darían una idea de la necesidad de sembrar una extensión mayor para obtener ingresos equivalentes debido a los factores limitantes tales como disponibilidad de agua, suelos, distancia al puerto, costos de producción, etc.

El abordaje de la presente investigación permitió conocer una realidad que va más allá de los aspectos puramente ecológicos o ambientales. Al tratarse de un sistema complejo el análisis debe ser abordado desde una perspectiva integradora, ya que es la única forma de investigar este tipo de sistemas en el largo plazo. Pero en Argentina también existen campesinos que plantean un manejo muy diferente: diversifican los cultivos al máximo posible para hacer un uso más eficiente de la luz, el agua y los nutrientes a partir del cultivo de plantas con distintos requerimientos de dichos factores, algunos de los cuales son limitantes. Es decir, están presentes otros sistemas productivos, tales como agricultura familiar, orgánicos, agroecológicos, etc., que conviven con el modelo agrícola industrial y que es necesario analizar. Por esta razón una propuesta para trabajos futuros sería realizar comparaciones entre distintos modos de hacer agricultura y



así tener un panorama más amplio sobre la realidad productiva argentina.

Las metodologías de análisis como la Síntesis Emergética fueron desarrolladas en países europeos, donde la disponibilidad de datos es mucho mayor y las producciones son muy estables a lo largo del tiempo. En nuestra realidad latinoamericana, cada año los productores toman decisiones en función de numerosas variables relacionadas no sólo con factores ambientales, sino también políticos y económicos. Por esta razón, debemos ser cuidadosos al utilizar estos métodos, ya que los resultados deben analizarse contextualizándolos en una realidad que cambia constantemente. Este enfoque es pertinente y útil, pero requiere una adaptación a las condiciones de los países latinoamericanos desde dos ángulos: una intensa captura de datos al nivel local por los organismos del estado involucrados en la estadística nacional y una selección de indicadores con significado local. Es necesario continuar trabajando en esta línea, estimulando la participación de los diversos actores, para generar el diálogo que permita entender un poco más esta realidad tan compleja y a la vez fascinante que presentan los sistemas productivos, de los cuales dependemos para sobrevivir.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Silvia D. Matteucci por la revisión del artículo y sus contribuciones al mismo. A los revisores, por sus valiosas observaciones.

REFERENCIAS

Adamoli, J.; Torrella, S. y R. Ginzburg, 2011. El bosque de tres Quebrachos. Un proyecto para la conservación de los bosques más amenazados del Chaco. Publicación del Grupo de Estudios de Sistemas Ecológicos en Ambientes Agrícolas (GESEAA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

AGRANUAL - Anuário da agricultura Brasileira, 2010. São Paulo, SP: FNP Consultoria e Comércio. Editorial Argos.

Barsky, O., 1997. La información estadística y las visiones sobre la estructura agraria pampeana, en:

Barsky, O. y A. Pucciarelli (eds.). El agro pampeano. El fin de un período. FLACSO, Buenos Aires.

Brandt-Williams, S. 2002. Folio #4: Emery of Florida Agriculture. Handbook of Emery Evaluation: A compendium of data for emery computation issued in a series of folios. Center for Environmental Policy, Univ. of Florida, Gainesville.

Brown, M.T., Brandt-Williams S., Tilley D. y S. Ulgiati, 2001. Emery Synthesis: An Introduction en: Brown, M.T. (ed). Emery Synthesis 1: Theory and Applications of the Emery Methodology. Proceedings of the 1st Biennial Emery Conference. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.

Brown M.T. y S. Ulgiati, 2004a. Emery analysis and environmental accounting. En: Cleveland C. (ed.) Encyclopedia of energy. Oxford, UK: Academic Press, Elsevier.

Brown M.T. y S. Ulgiati, 2004b. Energy quality, emery, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. Ecological Modelling 178(1-2):201-213.

Brown M.T., Odum, H.T y S.E. Jorgensen. 2004. Energy hierarchy and transformity in the universe. Ecological Modelling 178:17-28.

Brown M.T. y S. Ulgiati, 2010. Updated evaluation of exergy and emery driving the geobiosphere: A review and refinement of the emery baseline. Ecological Modelling 221(20):2501-2508.

Buenfill A.A., 2000. Sustainable Use of Potable Water in Florida: an Emery Analysis of Water Supply and Treatment Alternatives In: Brown M.T., Brandt-Williams S., Tilley D., Ulgiati S. (Eds.), EMERY SYNTHESIS. Theory and Applications of the Emery Methodology. H.T. Odum Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.

Campbell, D.E.; Brandt-Williams, S.L. y T. Cai, 2005. Current Technical Problems in Emery Analysis en: Brown, M.T.E. Bardi, D.E. Campbell, V. Comar, S. Huang, T. Rydberg, D. Tilley and S. Ulgiati (eds). Emery Synthesis 3: Theory and Applications of the Emery Methodology. Proceedings of the 3rd Biennial Emery Conference. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.

Cavalett, O., 2008. Análise de ciclo de vida da soja. Universidade Estadual de Campinas, San Pablo, Brasil. Tesis de doctorado disponible en: www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/extensao.htm

Cruzate, G.A. y Casas, R.R., 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. Revista Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica N° 6, International Plant Nutrition Institute (IPNI). Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/C95DB764EA8A903585257A0F006D98BB/\\$FILE/IAH-2012-06.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/C95DB764EA8A903585257A0F006D98BB/$FILE/IAH-2012-06.pdf)



Franzese, P. P.; Cavalett, O.; Häyhä, T. y S. D'Angelo, 2013. Integrated Environmental Assessment of Agricultural and Farming Production Systems in the Toledo River Basin (Brazil). UNESCO-IHP Water Programme for Environmental Sustainability, Climate Change and Human Impacts on the Sustainability of Groundwater Resources: Quantity and Quality Issues, Mitigation and Adaptation Strategies in Brazil. Impreso por UNESCO.

García, F.O., s/f. Soja: Nutrición del Cultivo y Fertilización en la Región Pampeana Argentina. Disponible en: http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/soja/Criterios_fertilizacion.pdf

Lomas, P.L.; Di Donato, M. y S. Ulgiati, 2007. La síntesis emergética: una valoración de los servicios de los ecosistemas con base termodinámica. *Ecosistemas* 16(3): 37-45.

Martin, J. F., Diemont, S.A.W., Powell, E., Stanton, M. y S. Levy-Tacher, 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115:128-140.

Matteucci, S.D., 2012. Ecorregión Pampa. En: Morello, J.H., Matteucci, S.D., Rodríguez, A. y M. Silva, *Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos*. Orientación Gráfica Editora SRL. Buenos Aires, Argentina.

Morello, J.H. y S.D. Matteucci, 1997. El modelo agrícola del Núcleo Maicero como sistema complejo. En: Morello, J. y O. Solbrig (comps.) *¿Argentina granero del mundo: hasta cuándo?* Orientación Gráfica Editora SRL, Buenos Aires, Argentina.

Morello, J.; Pengue, W. y Rodríguez, A., 2007. Un siglo de cambios de diseño del paisaje: el Chaco Argentino. En: Matteucci, S.D. (Ed.) *Panorama de la ecología de paisajes en Argentina y países sudamericanos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.

Morello, J.H., 2012. Ecorregión Chaco Seco. En: Morello, J.H., Matteucci, S.D., Rodríguez, A. y M. Silva, *Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos*. Orientación Gráfica Editora SRL. Buenos Aires, Argentina.

Odum, H.T., 1986. EMERGY in Ecosystems, en Polunin, N. (ed) *Ecosystem Theory and Application*. Wiley, New York.

Odum, H.T., 1988. Self organization, transformity and information. *Science* 242:1132-1139.

Odum, H.T., 1996. *Environmental Accounting: EMERGY and Environmental Decision Making*. John Wiley & Sons, New York.

Odum, H.T., Brown, M.T. y S. Brandt-Williams. 2000. Folio #1: Introduction and Global Budget. Handbook of Emergy Evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Center for Environmental Policy, Univ. of Florida, Gainesville.

Odum, H.T., 2000. Folio #2: Emergy of global Processes. Handbook of Emergy Evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Center for Environmental Policy, Univ. of Florida, Gainesville.

Pengue, W.A., 2005. Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina. ¿La transgénesis de un continente? Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. PNUMA.

Pengue, W.A., 2009. *Fundamentos de Economía Ecológica*. Editorial Kaicron, Buenos Aires, Argentina.

Pulselli F. M., Coscieme L. y S. Bastianoni, 2011. Ecosystem services as a counterpart of emergy flows to ecosystems. *Ecological Modelling* 222(16): 2924–2928.

Scienceman, D.M., 1987. Energy and EMERGY, en Pillet, G. y T. Murota (eds.) *Environmental Economics*. Roland Leimgruber, Ginebra.

Solbrig, O., 1997. Ubicación histórica: desarrollo y problemas de la Pampa Húmeda, en: Morello, J.H. y O. Solbrig (comps.) *¿Argentina granero del mundo: hasta cuándo?* Orientación Gráfica Editora SRL, Buenos Aires, Argentina.

Totino, M., 2015. Utilización de indicadores biofísicos para el estudio de la sustentabilidad socioambiental en la planicie Chaco Pampeana. Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Ulgiati, S., 2000. Energy, Emergy and Embodied Exergy: diverging or converging approaches? En: Brown, M.T. (ed) *Emergy Synthesis 1: Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Proceedings of the 1st Biennial Emergy Conference. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.

Ulgiati, S.; Raugai, M. y S. Bargigli, 2006. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. *Ecological Modelling* 190:432–442.

Ulgiati, S., Zucaro, A. y P.P. Franzese, 2011. Shared wealth or nobody's land? The worth of natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics* 70:778-787.

ANEXOS

ANEXO 1

NOTAS TABLA 2 (CHARATA)

1. Radiación solar

Energía solar recibida=(insolación promedio, J/m²/año)(área, m²)= 6,31E+13 J/año (sigma2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos)

Albedo= 12% (https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/subset.cgi?&grid=none&latmax=-2714&tenyear=srf_alb&month=1&submit=Sub)



mit&lonmin=-6112&email=skip@larc.nasa.gov&p=&latmin=-2713&lonmax=-6113)

Energía solar recibida=(1-0,12)(6,31E+13 J/ha/año)=5,55E+13 J/ha/año

2. Precipitaciones

Lluvia=1,06 m/año
(siga2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos)

Densidad del agua=1E+06 g/m³

Masa de agua de lluvia=(1,06 m/año)(1E+06 g/m³)(1,00E+04 m²)=1,06E+10 g/año

Fracción de agua evapotranspirada=1
(siga2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos)

Masa de agua evapotranspirada=1,06E+10 g/año

Energía de la lluvia=(agua evapotranspirada, g/año)(energía libre de Gibbs por g de agua, J/g)

Energía libre de Gibbs del agua=4,94 J/g

Energía de la lluvia=(1,06E+10 g/año)(4,94 J/g)=5,24E+10 J/ha/año

3. Absorción de N₂ de la atmósfera

Kg de N fijado: 6,00E+01 kg de N/ha/yr
(Cavalett, 2008)

4. Pérdida neta de materia orgánica del suelo

Tasa de erosión= 1,70E+03 g/m²/año
(Cavalett, 2008)

Pérdida neta de suelo=(área cultivada, m²)(tasa de erosión, g/m²/año)=1,70E+07 g/ha/año

Contenido de MO en el suelo (húmedo)= 4%
(Odum, 1996)

Cantidad de MO (húmedo)=(1,70E+07 g/m²/año)(0,04)=6,8E+05 g/m²/año

Contenido de agua de la MO=30%

MO seca perdida por erosión=(6,8E+05 g/m²/año)(0,7)=4,77E+05 g/m²/año

Contenido energético de la MO=5,4 kcal/g materia seca (Franzese et al, 2013)

Pérdida de energía=(4,77E+05 g/m²/año)(5,4 kcal/g)(4186 J/kcal)=1,08E+10 J/ha/año

5. Nafta

El consumo de nafta es prácticamente despreciable: 0,5 kg/ha/año (promedio de datos de campo)

6. Gasoil

Consumo en siembra: 8,4 l/ha
(Publicarg.com)

Consumo en cosecha: 8,55 l/ha
(Publicarg.com)

Consumo en pulverización (1 aplicación fungicidas + 3 aplicaciones insecticidas + 2 aplicaciones herbicidas): (1 l/ha)(6 pasadas)=6 l/ha (dato obtenido en esta investigación)

Consumo camioneta: 7 l/ha/año (promedio de datos de campo)

Consumo total anual de gasoil: 8,4 l/ha + 8,55 l/ha + 6 l/ha + 7 = 30 l/ha/año

Densidad del gasoil=0,84 Kg/l
(www.energygroup.com)

Consumo total anual de gasoil= (0,84 Kg/l)(30 l/ha/año)= 25,2 kg/ha/año

7. Electricidad

Consumo promedio mensual entre los productores entrevistados=0,59 kWh/ha

Consumo anual: (0,59 kWh/ha)(12)= 7,08 kWh/ha/año

8. Consumo de agua para pulverización

Consumo promedio anual entre los productores entrevistados=67,3 l/ha

Pasadas totales de la pulverizadora: 6



Consumo total de agua= $(67,3 \text{ l/ha})(6) = 0,40 \text{ m}^3/\text{ha/año}$

9. Semillas

Masa de semillas utilizadas: $6,90\text{E}+01 \text{ kg/ha/año}$ (Cavalett, 2008)

10 y 11. Fertilizantes (Fosfato y Azufre)

Los productores entrevistados manifestaron que no utilizan ningún tipo de fertilizante.

12, 13 y 14. Agroquímicos (fungicidas, insecticidas y herbicidas)

Los productores entrevistados informaron nombre y cantidad utilizada de cada producto. Se hizo un promedio teniendo en cuenta sólo la cantidad del ingrediente activo, informado en las etiquetas.

15. Maquinaria Agrícola

Los valores utilizados para cada tipo de máquina salen del Agrarianual 2010

16. Trabajo Humano

El consumo diario promedio de energía es de 2500 kcal, aplicadas a un trabajo de 8 horas por día.

El dato aportado por los productores es que el trabajo aplicado a la soja es $1,14 \text{ hs/ha/año}$

Trabajo humano total aplicado a la soja= $(1,14 \text{ hs/ha/año})(2500 \text{ kcal})(4186 \text{ J})/(8 \text{ hs/día}) =$

$=1,49\text{E}+06 \text{ J/ha/año}$

17. Servicios Anuales en la Producción Agrícola

El valor se obtiene sumando todos los costos de los servicios. Para transformarlo a energía se utiliza el EMR (Emergency Money Ratio). Según la National Environment Accounting Database (NEAD) (disponible en <http://www.cep.ees.ufl.edu/nead/>) el EMR para Argentina en el año 2008 era de

$7,4\text{E}+12 \text{ seJ/U}\$$. Se pasa a pesos argentinos con la cotización del 2008 y el valor es $2,33\text{E}+12 \text{ seJ/}\$$. Este es el valor de transformicidad utilizado.

Contenido energético de la soja

$3,92\text{E}+10 \text{ J/ha/yr}$ (CREA-Centro di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione, http://nut.entecra.it/646/tabelle_di_composizio ne_degli_alimenti.html)

Rendimiento promedio

2667 kg/ha/año (promedio de datos de campo)

ANEXO 2

NOTAS TABLA 4 (ROJAS)

1. Radiación solar

Energía solar recibida= $(\text{insolación promedio, J/m}^2/\text{año})(\text{área, m}^2) = 5,90\text{E}+13 \text{ J/ha/año}$ (siga2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos)

Albedo= 13%
(https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/subset.cgi?&grid=none&latmax=-2714&tenyear=srf_alb&month=1&submit=Submit&lonmin=-6112&email=skip@larc.nasa.gov&p=&latmin=-2713&lonmax=-6113)

Energía solar recibida= $(1-0,13)(5,90\text{E}+13 \text{ J/ha/año}) = 5,13\text{E}+13 \text{ J/ha/año}$

2. Precipitaciones

Lluvia= $1,27 \text{ m/año}$ (siga2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos)

Densidad del agua= $1\text{E}+06 \text{ g/m}^3$

Masa de agua de lluvia= $(1,27 \text{ m/año})(1\text{E}+06 \text{ g/m}^3)(1,00\text{E}+04 \text{ m}^2) = 1,27\text{E}+10 \text{ g/ha/año}$

Fracción de agua evapotranspirada= $0,89$ (siga2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos)

Masa de agua evapotranspirada= $1,13\text{E}+10 \text{ g/año}$



Energía de la lluvia=(agua evapotranspirada, g/año)(energía libre de Gibbs por g de agua, J/g)

Energía libre de Gibbs del agua=4,94 J/g

Energía de la lluvia=(1,13E+10 g/año)(4,94 J/g)=5,58E+10 J/ha/año

3. Absorción de N₂ de la atmósfera

Kg de N fijado: 6,00E+01 kg de N/ha/año (Cavalett, 2008)

4. Pérdida neta de materia orgánica del suelo

Tasa de erosión= 1,70E+03 g/m²/año (Cavalett, 2008)

Pérdida neta de suelo=(área cultivada, m²)(tasa de erosión, g/m²/año)=1,70E+07 g/ha/año

Contenido de MO en el suelo (húmedo)= 4% (Odum, 1996)

Cantidad de MO (húmedo)=(1,70E+07 g/m²/año)(0,04)=6,8E+05 g/m²/año

Contenido de agua de la MO=30%

MO seca perdida por erosión=(6,8E+05 g/m²/año)(0,7)=4,77E+05 g/m²/año

Contenido energético de la MO=5,4 kcal/g materia seca (Franzese et al, 2013)

Pérdida de energía= (4,77E+05 g/m²/año)(5,4 kcal/g)(4186 J/kcal)=1,08E+10 J/ha/año

5. Nafta

El consumo de nafta es prácticamente despreciable: 1 kg/ha/año (promedio de datos de campo)

6. Gasoil

Consumo en siembra: 8,4 l/ha (Publicarg.com)

Consumo en cosecha: 8,55 l/ha (Publicarg.com)

Consumo en pulverización (1 aplicación fungicidas + 3 aplicaciones insecticidas + 2 aplicaciones herbicidas): (1 l/ha)(6 pasadas)=6 l/ha (dato obtenido en esta investigación)

Consumo camioneta: 7 l/ha/año (promedio de datos de campo)

Consumo total anual de gasoil: 8,4 l/ha + 8,55 l/ha + 6 l/ha + 7 = 30 l/ha/año

Densidad del gasoil=0,84 Kg/l (www.energypigroup.com)

Consumo total anual de gasoil= (0,84 Kg/l)(30 l/ha/año)= 25,2 kg/ha/año

7. Electricidad

Consumo anual= 1,11 kWh/ha/año (dato obtenido en esta investigación)

8. Consumo de agua para pulverización

Consumo promedio anual entre los productores entrevistados=67,3 l/ha

Pasadas totales de la pulverizadora: 6

Consumo total de agua= (67,3 l/ha)(75 ha)(6)= 0,40 m³/ha/año

9. Semillas

Masa de semillas utilizadas: 6,90E+01 kg/ha/año (Cavalett, 2008)

10 y 11. Fertilizantes (Fosfato y Azufre)

Los productores entrevistados informaron que utilizan Fosfato y Azufre. Se hizo un promedio teniendo en cuenta sólo la cantidad del ingrediente activo, informado en las etiquetas.

12, 13 y 14. Agroquímicos (fungicidas, insecticidas y herbicidas)

Los productores entrevistados informaron nombre y cantidad utilizada de cada producto. Se hizo un promedio teniendo en cuenta sólo la cantidad del ingrediente activo, informado en las etiquetas.



15. Maquinaria Agrícola

Los valores utilizados para cada tipo de máquina salen del Agriannual 2010

16. Trabajo Humano

El consumo diario promedio de energía es de 2500 kcal, aplicadas a un trabajo de 8 horas por día.

El dato aportado por los productores es que el trabajo aplicado a la soja es 1,14 hs/ha/año

Trabajo humano total aplicado a la soja= $(1,14 \text{ hs/ha/año})(2500 \text{ kcal})(4186 \text{ J})/(8 \text{ hs/día})$
= $1,49\text{E}+06 \text{ J/ha/año}$

17. Servicios Anuales en la Producción Agrícola

El valor se obtiene sumando todos los costos de los servicios. Para transformarlo a emergencia se utiliza el EMR (Emergy Money Ratio). Según la National Environment Accounting Database (NEAD) (disponible en <http://www.cep.ees.ufl.edu/need/>) el EMR

para Argentina en el año 2008 era de $7,4\text{E}+12 \text{ seJ/U\$S}$. Se pasa a pesos argentinos con la cotización del 2008 y el valor es $2,33\text{E}+12 \text{ seJ/\$}$. Este es el valor de transformicidad utilizado.

Contenido energético de la soja

$3,92\text{E}+10 \text{ J/ha/yr}$ (CREA-Centro di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione, http://nut.entecra.it/646/tabelle_di_composizione_degli_alimenti.html)

Rendimiento promedio

3324 kg/ha/año (promedio de datos de campo)