

Inventario del Ciclo de Vida de Energía y Carbono en una Producción Agrícola Convencional en Paraná - Brasil*

*Inventário do Ciclo de Vida de Energia e Carbono em uma produção
convencional no Paraná - Brasil*

*Energy and Carbon Life Cycle Inventory of a Conventional
Agricultural Production in Paraná - Brazil*

Adriana Fragalli**, Alejandro González*** e Luiz Panhoca****

RESUMEN

La sustentabilidad alimentaria es importante pues trata de un sector productivo imprescindible en escenarios futuros de crecimiento poblacional y limitación de recursos. El sector alimentario involucra procesos biológicos, químicos y físicos que impactan el medio ambiente de formas diversas: uso de energía y gases de efecto invernadero (GEI), uso y contaminación del agua, eutrofización, pesticidas y productos farmacéuticos, deforestación y desertificación, entre otros. Por lo tanto, el análisis de impactos ambientales y sustentabilidad de la producción y consumo de alimentos presenta desafíos particulares teniendo en cuenta su complejidad. En este trabajo estudiamos el uso de energía y la emisión de GEI en la producción de maíz, soja y trigo por métodos convencionales con agroquímicos en el Estado de Paraná, Brasil. Se obtuvieron datos de los insumos y maquinaria utilizada, y se realizó el inventario de ciclo de vida. Los resultados muestran que el mayor impacto energético y de gases de efecto invernadero se encuentra, para maíz y trigo, en el uso de fertilizantes, y para la soja en el uso de herbicidas. El combustible utilizado en la maquinaria agrícola es el tercero en importancia tanto en energía como en GEI. Se evaluó además la mano de obra en la finca, determinando que su incidencia es mínima comparada con otros impactos. Los resultados por kg de producto en la puerta de la finca muestran valores similares a los obtenidos en producciones comparables de Europa y Estados Unidos. Del análisis se concluye que la sustentabilidad de la provisión alimentaria actual depende fuertemente de insumos externos a las fincas.

Palabras clave: Ciclo de vida. Energía utilizada. Gases de efecto invernadero. Producción alimentaria.

* Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de CNPq, FINEPE e ITCP/UFPR de Brasil, CONICET y Universidad Nacional del Comahue de Argentina, y CEAM de la Universidad Austral de Chile. AG agradece la hospitalidad y el apoyo a la investigación en su año sabático en la Universidad Austral de Chile.

** Contadora, mestre em Contabilidade pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: adriana_fragalli@hotmail.com

*** Físico, doutor em Ciências Físicas pela Universidade de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Atualmente é pesquisador no Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente (INIBIOMA, CONICET y Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina). E-mail: ale.agonzalez@gmail.com

**** Pós-doutor em Geografia, professor da Universidade Federal do Paraná. E-mail: panhoca.l Luiz@ gmail.com
Artigo recebido em abril/2017 e aceito para publicação em maio/2017.

RESUMO

A sustentabilidade alimentar é importante pois envolve um setor produtivo imprescindível quando considerados cenários futuros de crescimento populacional e limitação de recursos. O setor alimentar implica processos biológicos, químicos e físicos que impactam o meio ambiente de diversas maneiras: uso de energia e gases de efeito estufa (GEE), uso e contaminação da água, eutrofização, pesticidas e produtos farmacêuticos, desmatamento e desertificação, entre outros. Portanto, a análise de impactos ambientais e sustentabilidade da produção e consumo de alimentos apresenta desafios particulares tendo em vista sua complexidade. Neste trabalho, estudamos o uso de energia e a emissão de GEE na produção de milho, soja e trigo por métodos convencionais com agroquímicos no Estado de Paraná, Brasil. Foram obtidos dados dos insumos e maquinário utilizado, sendo realizado o inventário de ciclo de vida. Os resultados mostram que o maior impacto energético e de gases de efeito estufa é gerado, para o milho e o trigo, pelo uso de fertilizantes, e para a soja no uso, de herbicidas. O combustível utilizado no maquinário agrícola é o terceiro em importância tanto em energia como em GEE. Além disso, avaliou-se a mão de obra na propriedade, determinando que sua incidência é mínima se comparada com outros impactos. Os resultados por kg de produto na porta da fazenda mostram valores similares aos obtidos em produções comparáveis da Europa e Estados Unidos. Conclui-se desta análise que a sustentabilidade da provisão alimentar atual depende em grande medida de insumos externos às propriedades.

Palavras-chave: Ciclo de vida. Energia utilizada. Gases de efeito estufa. Produção alimentar.

ABSTRACT

Sustainable food production will be an essential activity in a future scenario of growing population and resource scarcity. The food production sector involves biological, chemical and physical processes that impact the environment in different ways: by energy demand, greenhouse gas (GHG) emission, eutrophication, use of pesticides and pharmaceuticals, deforestation, and desertification, among others. Thus, the environmental impacts and sustainability of food production and consumption are of challenging complexity. For this paper, we studied energy usage and GHG emission in the production of maize, wheat and soybeans by current conventional methods that include the use of agrochemicals in the State of Paraná, Brazil. Detailed data on agricultural inputs and machinery were obtained, and life cycle inventories performed. The results show that fertilizers contribute with the highest GHG emissions and energy impacts in maize and wheat production, while herbicides contribute the most in the soybean production. Fuel is third in importance regarding energy and GHG impact. Labor was found to cause a negligible impact on such productions. Impacts on farm gate value per kilogram are similar to those in the USA and Europe. We conclude that the sustainability of the current food production depends largely on external inputs.

Keywords: Energy. Food production. Greenhouse gases. Life cycle inventory.

INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad alimentaria depende de diversos factores, y en cada región estos tienen importancia relativa distinta. Los factores directos que afectan la sustentabilidad son la disponibilidad de tierra cultivable, el agua y los insumos y energía necesarios a la producción. Del mismo modo hay factores indirectos, que impactan el medio ambiente y con ello tienen potencial para afectar la producción, aunque, en ocasiones, no en la misma región en donde se producen los impactos. En esta categoría se encuentran los gases de efecto invernadero (GEI).

En las dos últimas décadas se comenzó a entender la importante contribución de la producción alimentaria en el cambio climático global. Este sector no sólo es gran consumidor de energía sino que genera gases de efecto invernadero (GEI) adicionales a los energéticos, y originados en los procesos biológicos y químicos que hacen posible la producción agropecuaria (GERBER et al., 2013; CARLSSON-KANYAMA; GONZÁLEZ, 2007; CARLSSON-KANYAMA, 1998).

La producción y comercialización de alimentos es responsable por alrededor del 30% del total de GEI emitidos, incluyendo CO_2 , CH_4 y N_2O . La mayor parte de las emisiones en producción alimentaria corresponde a CO_2 (ca. 57%), la cual se afecta fuertemente por la baja eficiencia en la producción animal (GONZÁLEZ et al., 2011). Se estima que sólo la producción animal es responsable por un 14,5% del total de emisiones globales (GERBER et al., 2013). Estas producciones resultan en productos cárnicos y lácteos de diversas especies, y sus derivados. La alimentación actual es muy intensiva en el consumo de estos productos, lo cual queda reflejado en las cifras de impacto en energía usada y en GEI emitidos. En trabajos recientes se ha investigado también el impacto en energía y GEI de la obtención de nutrientes esenciales en la dieta humana, proteínas y calorías alimentarias (HALLSTRÖM et al., 2014; PRADHAN et al., 2013; CARLSSON-KANYAMA; GONZÁLEZ, 2009, STEHFEST et al., 2009), y su relación con la salud humana (McMICHAEL et al., 2007; DUCHIN, 2005).

El objetivo de este trabajo es estudiar el impacto en energía y gases de efecto invernadero (GEI) de una producción agropecuaria de cereales y leguminosas en Brasil, y comparar los resultados con promedios de cultivos similares en otras regiones.

1 METODOLOGÍA

Se consideró una propiedad agrícola con 23 ha cultivadas, cuya elección se basó en la disponibilidad del productor de colaborar con la información detallada que se necesita para el ICV. De acuerdo al volumen bruto de ventas, esta finca se encuentra clasificada como de pequeño productor (MARION, 2012).

1.1 OBTENCIÓN DE DATOS Y ASIGNACIÓN DE IMPACTOS

Las entrevistas para recolección de datos comenzaron en mayo del 2013. Cada visita resultó en una tabla de insumos agrícolas por clase y cantidad, y sus costos. El análisis de los datos parciales y la búsqueda de información en energía y GEI asociados

generaron nuevas consultas en la finca con dudas y profundización en el inventario. Algunos ítems relevantes son: herbicidas, fertilizantes, combustibles, fungicidas, pesticidas y semillas. Los nombres de los productos químicos fueron obtenidos en los envases, y las cantidades fueron obtenidas en las facturas de compra de los últimos tres años. Estos insumos abarcan seis períodos productivos entre febrero del 2010 y febrero del 2013. La información obtenida sobre la maquinaria utilizada fue confirmada en las declaraciones de impuestos de la finca para los años 2010 al 2012. El consumo de combustible, las horas de mano de obra, las horas de utilización de maquinaria y el valor de venta de la producción fueron informados por el propietario en las entrevistas.

Por otro lado, el productor sigue las recomendaciones de los organismos oficiales de Brasil para la época de siembra y cosecha, por lo cual la producción estudiada puede considerarse como caso testigo de la mayoría de pequeños agricultores que practican los métodos convencionales basados en laboreo con maquinaria y agroquímicos (AGEITEC, 2013). En la tabla 1 se muestran las cantidades de semilla utilizadas y la producción de granos obtenida, así como también el combustible diésel usado en la maquinaria agrícola y las horas de mano de obra empleadas en cada período.

TABLA 1 - USO DE SEMILLA, DIÉSEL, MANO DE OBRA Y COSECHAS OBTENIDAS EN LOS PERÍODOS ESTUDIADOS

| PRODUCTO | FECHA SIEMBRA (kg) | | FECHA COSECHA (kg) | | RENDIMIENTO (kg/ha) | DIÉSEL (litros) | MANO DE OBRA (horas) |
|----------|--------------------|-------|--------------------|---------|---------------------|-----------------|----------------------|
| Maíz | Feb. 2010 | 480 | Ago. 2010 | 102.660 | 4.465 | 694 | 196 |
| Soja | Sept. 2010 | 1.800 | Feb. 2011 | 75.900 | 3.301 | 838 | 209 |
| Maíz | Feb. 2011 | 500 | Ago. 2011 | 100.800 | 4.385 | 719 | 188 |
| Maíz | Sept. 2011 | 480 | Mar. 2011 | 188.100 | 8.182 | 846 | 202 |
| Trigo | Abr. 2012 | 4.000 | Ago. 2012 | 58.500 | 2.545 | 550 | 171 |
| Soja | Sept. 2012 | 1.680 | Feb. 2013 | 78.660 | 3.421 | 818 | 202 |

FUENTE: Los autores

Dado que la producción se entrega en el depósito de una cooperativa local para su posterior comercialización, se considera que las cantidades producidas fueron obtenidas con baja incertidumbre. Existen dos períodos de cultivo característicos, el del invierno (febrero a agosto), y el del verano (septiembre a febrero). Nótese que para maíz se obtuvo rendimiento similar en las dos cosechas de invierno, pero casi el doble en la cosecha de verano. Los rindes para soja fueron similares en las dos cosechas, y dentro de los valores estándar obtenidos tanto en Brasil como en Argentina.

El productor utiliza herbicidas y fertilizantes químicos al momento de la siembra y en distintas etapas del crecimiento vegetativo. El maíz y el trigo demandan mayor cantidad de fertilizante que la soja. Para maíz y trigo en cosechas de invierno el promedio utilizado de fertilizante fue de 300 kg/ha; y para maíz en cosecha de verano, 500 kg/ha. En soja se aplicaron 240 kg/ha de fertilizante nitrogenado y 90 kg/ha adicionales de fertilizante de potasio y fósforo. La soja demanda mayor cantidad de fósforo que los demás cultivos. Se utilizaron herbicidas atrazina, glifosato, primóleo en cantidades variables de 5 a 9 litro/ha, con el agregado de 2 litro/ha de RoundUpReady en el caso de la soja, que utiliza semilla transgénica tolerante a este herbicida. Nótese

en la tabla 1 la regularidad y consistencia en el uso de combustible y mano de obra para los distintos períodos de cada grano. Esta regularidad se debe tanto a que el productor es experimentado en el tipo de cultivos, como a que los procedimientos en este tipo de agricultura convencional están bien definidos para cada semilla y región agrícola.

Las cantidades de cada insumo se han transformado en MJ (MegaJoule) de energía utilizada y en kg CO₂eq. (kg de CO₂ equivalente) de emisión de GEI utilizando datos de diversas fuentes (LAL, 2004; IPCC, 2006; CARLSSON-KANYAMA; GONZÁLEZ, 2007, WILLIAMS et al., 2010; GONZÁLEZ et al., 2011). No se cuentan con datos de energía y GEI debidos a la fabricación de insumos brasileños. Sin embargo, aunque algunos productos sean de fabricación local, los preparados son estándar, están adecuados a normas internacionales, y en particular las empresas que los producen en su mayoría son las mismas estudiadas en Europa y Estados Unidos. Por lo tanto, los valores considerados para impactos de insumos pueden tener una incertidumbre adicional por la diferencia en la matriz energética de Brasil con respecto a otros países, aunque la diferencia no es significativa. En los inventarios de GEI nacionales, el IPCC recomienda que ante la falta de datos locales se usen datos globales de *default*, con la precaución de que cada producto o servicio tenga similitud con el investigado en otras regiones (IPCC, 2006). Por ejemplo, este es también el caso del consumo de combustible de la maquinaria y del transporte por camión, para los cuales en Brasil se utilizan modelos similares y de las mismas marcas que se utilizan en Europa o Estados Unidos. Esto simplifica los inventarios de impactos y los hace posibles para países o regiones a los cuales no hay estudios específicos de producciones de insumos.

En el caso de los fertilizantes nitrogenados, además de los impactos en la fabricación se consideró la emisión de óxido nitroso (N₂O) producida en el suelo por actividad bacteriana aeróbica (CARLSSON-KANYAMA; GONZÁLEZ, 2007). El potencial de calentamiento global de este gas es 298 veces el de CO₂, por lo cual la emisión de 1 g de N₂O tiene el equivalente de 298 g de CO₂eq. (IPCC, 2006).

Para tener en cuenta el impacto de las semillas se usó un método de iteración por el cual primero se obtiene el inventario energético y de carbono sin incluir la semilla, y el valor de impacto obtenido se utiliza en un segundo cálculo completo. Aumentándose el número de iteraciones se disminuye el error; aunque, dado que la importancia relativa de la semilla es muy baja, con solamente una iteración se obtiene un error por debajo del 2%. En estas producciones también se utilizaron pesticidas y fungicidas siguiendo las prácticas estándar. Las cantidades fueron consideradas en el inventario, pero no se detallan aquí por limitaciones de espacio y porque su incidencia en energía y GEI no es significativa.

1.2 IMPACTO DE LA MANO DE OBRA

En trabajos previos, se estimó la mano de obra considerando la energía per cápita total utilizada en el país (PIMENTEL, 2009; GONZÁLEZ, 2014). Ese criterio supone que toda la energía se usa en la manutención de la capacidad de trabajo que

tiene el país, y por lo tanto puede asumirse como contribuyendo a la capacidad laboral. Para el caso de Argentina, con este criterio se estimaron valores de 9.6 MJ/cap.hora para la energía involucrada en mano de obra, y 0.5 kg CO₂/hora (GONZÁLEZ, 2014). Estas estimaciones se realizan considerando 24 horas por día para distribuir la energía usada en todas las actividades humanas.

Para Brasil, el consumo de energía per cápita en 2012 fue de 1.42 tep/cap.año (toneladas equivalente de petróleo), y las emisiones de GEI en 2011 fueron 2.22 tons/cap.año (IEA, 2014). Cada tep equivale a 41.87 GJ de energía. Entonces resultan 163 MJ/cap.día y 6.8 MJ/hora de mano de obra considerando 24 horas para distribuir la energía en todas las actividades humanas. El valor de energía por hora obtenido con este criterio es mayor al reportado por Campos et al. (2004), que han tenido en cuenta solamente la necesidad nutricional de una alimentación básica – promedio de 2.200 kcal por persona y por día (el impacto de la mano de obra sería 0,39 MJ/hora), pero excluye los requerimientos energéticos indirectos que usa el trabajador en su vida cotidiana. Esa demanda energética total hace posible su capacidad laboral, por lo cual se considera una estimación más realista y que además captura las particularidades energéticas y de emisiones del país en donde se realiza la mano de obra (PIMENTEL, 2009).

De la misma forma, teniendo en cuenta el total de emisiones de Brasil, los gases de efecto invernadero resultan 0,25 kg CO₂eq./hora de mano de obra. Ese valor es la mitad del encontrado previamente para Argentina. Esto en parte se debe a la mayor incidencia de las energías renovables en la matriz energética brasileña.

3 RESULTADOS

3.1 GASES DE EFECTO INVERNADERO

En la tabla 2 se muestra el resultado de emisiones de GEI por insumo necesario para la producción agrícola convencional considerada. La semilla (con excepción de trigo), insecticidas, fungicidas y mano de obra no son ítems importantes, aportando muy poco a las emisiones. En maíz y trigo el insumo asociado a las mayores emisiones son los fertilizantes, superando en varias veces al combustible y a los herbicidas. Para producción de soja los herbicidas son los que más impactan. Esto se debe a que la soja necesita menos fertilizante por ser una leguminosa, la cual, adecuadamente inoculada, desarrolla en las raíces núcleos bacterianos que sintetizan nitrógeno del aire y lo dejan en el suelo disponible para la planta.

Es interesante notar que en todos los casos el uso directo de combustible para la maquinaria no constituye el impacto principal, sino que éste se debe al uso indirecto de energía en la fabricación de insumos fuera de la finca. Esta es una diferencia conceptual relevante en el balance total de emisiones de GEI, cuando comparada a otros sectores de las actividades humanas, como transporte, industria o edificios, para los cuales los combustibles fósiles son los que más contribuyen al calentamiento global.

TABLA 2 - EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, EN KG CO₂EQ., EN LA PRODUCCIÓN DE GRANOS EN LAS DISTINTAS COSECHAS ESTUDIADAS

| INSUMOS | MAÍZ | SOJA | MAÍZ | MAÍZ | TRIGO | SOJA |
|--|----------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|-------------------------|
| | Feb.-Ago. 2010 | Sept. 2010 Feb. 2011 | Feb.-Ago. 2011 | Set. 2011 Mar. 2012 | Mar.-Ago. 2012 | Sept. 2012 Feb. 2013 |
| Semillas | 139 | 129 | 80 | 64 | 1.044 | 153 |
| Herbicidas ⁽¹⁾ | 2.515 | 5.833 | 2.244 | 3.268 | 2.072 | 7.339 |
| Insecticidas ⁽¹⁾ | 35 | 314 | 89 | 89 | 15 | 241 |
| Fungicidas ⁽¹⁾ | | 156 | 36 | 39 | 107 | 56 |
| Fertilizantes ^(2, 3, 4) | 10.288 | 3.026 | 12.774 | 20.888 | 11.705 | 1.122 |
| Diésel ⁽⁴⁾ | 2.005 | 2.421 | 2.077 | 2.444 | 1.589 | 2.363 |
| Mano de obra | 47 | 50 | 45 | 48 | 41 | 48 |
| Total de cada cosecha | 15.029 | 11.929 | 17.345 | 26.840 | 16.574 | 11.322 |
| kg CO ₂ eq./kg _{cosechado} | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.14 | 0.28 | 0.14 |

FUENTE: Los autores

(1) Lal, 2004; (4) IPCC, 2006.

(2) Williams et al., 2010.

(3) Carlsson-Kanyama y González, 2007.

(4) IPCC, 2006.

En la última fila de la tabla 1 se resumen los valores de emisiones por kg de grano cosechado. En todos los casos las emisiones son similares a las encontradas para el mismo tipo de producciones en Estados Unidos y Europa, y son muy bajas comparadas con emisiones encontradas para otros productos alimenticios (GONZÁLEZ et al., 2011). Las emisiones por kg para trigo son mucho mayores que para maíz y soja debido al bajo rendimiento por hectárea que presentó este cereal en la cosecha estudiada. De aquí resultaron significativas las emisiones correspondientes a la semilla de trigo, con un inusual 6% del total.

3.2 USO DE ENERGÍA

De la misma forma, se obtuvieron las energías necesarias para disponer de cada insumo, lo cual se resume en la tabla 3. Los ítems de semilla, insecticidas, fungicidas y mano de obra son menos relevantes que herbicidas, fertilizantes y combustible.

Para las cosechas de maíz y trigo, los fertilizantes son los más demandantes en energía, seguidos de los herbicidas y en tercer lugar del combustible diésel para maquinaria. Para soja los herbicidas son los más demandantes de energía, seguido de los fertilizantes y en tercer lugar del combustible diésel. En la cosecha de soja de 2013 la energía demandada en fertilizantes es significativamente mayor que en la de 2011, y no guarda relación con las emisiones de GEI. Esto se debe a que en 2012 el productor aplicó fertilizante de calcio para mejora del suelo, el cual no produce emisiones pero requiere de energía.

Los valores de energía obtenidos por kg de cosecha muestran una dispersión baja entre años de cultivo, salvo para el maíz de verano comparado con maíz de invierno, que difieren en rendimiento por causas climáticas. Las energías usadas por kg de producto son similares a otras producciones similares en Estados Unidos y Europa (WILLIAMS et al., 2010).

TABLA 3 - ENERGÍA ASOCIADA A CADA INSUMO, EN MJ, PARA LAS DISTINTAS PRODUCCIONES DE GRANOS ESTUDIADAS

| INSUMO | MAÍZ | SOJA | MAÍZ | MAÍZ | TRIGO | SOJA |
|------------------------------|----------------|------------------------|----------------|-----------------------|----------------|------------------------|
| | Feb.-Ago. 2010 | Set. 2010 Feb. 2011 | Feb.-Ago. 2011 | Set 2011 Mar. 2012 | Mar.-Ago. 2012 | Set. 2012 Feb. 2013 |
| Semilla | 1.266 | 2.705 | 691 | 532 | 9.003 | 2.097 |
| Herbicidas ⁽¹⁾ | 34.053 | 78.960 | 30.374 | 44.241 | 28.046 | 99.337 |
| Insecticidas ⁽¹⁾ | 253 | 4.252 | 1.214 | 1.214 | 202 | 3.262 |
| Fungicidas ⁽¹⁾ | | 1.468 | 496 | 531 | 1.452 | 759 |
| Fertilizantes ⁽²⁾ | 100.335 | 40.960 | 95.780 | 154.940 | 90.595 | 85.379 |
| Diésel ⁽³⁾ | 27.066 | 32.682 | 28.041 | 32.994 | 21.450 | 31.902 |
| Mano de obra | 1.274 | 1.359 | 1.222 | 1.313 | 1.112 | 1.313 |
| Total de cada cosecha | 164.247 | 162.386 | 157.818 | 235.765 | 151.860 | 224.049 |
| MJ/kg cosechado | 1.6 | 2.1 | 1.6 | 1.3 | 2.6 | 2.9 |

FUENTE: Los autores

(1) Lal, 2004.

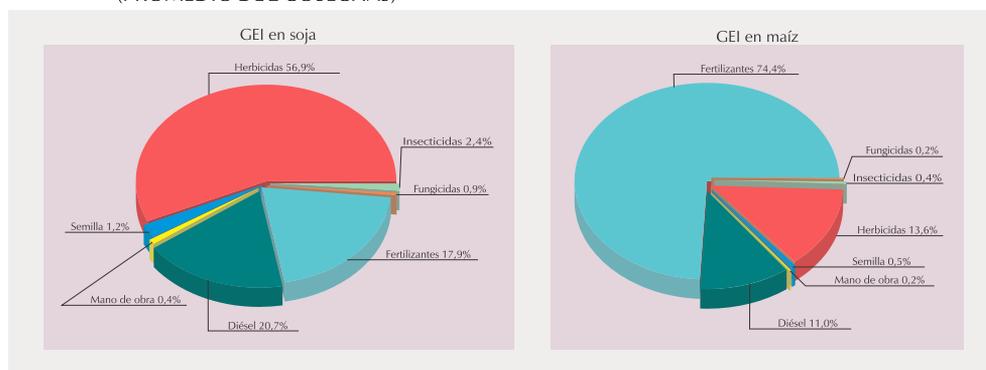
(2) Williams et al. 2010.

(3) IEA 2007.

3.3 INCIDENCIA DE CADA INSUMO

Dadas las diferencias estacionales y de aplicación de algún insumo distinto entre cosechas, consideramos el promedio de las cosechas de maíz y soja. En las figuras 1 y 2 se muestran las incidencias de cada insumo en el impacto promedio de cosechas, para GEI y energía, respectivamente.

FIGURA 1 - INCIDENCIA DE DISTINTOS INSUMOS EN GEI EN MAÍZ (PROMEDIO DE 3 COSECHAS) Y SOJA (PROMEDIO DE 2 COSECHAS)

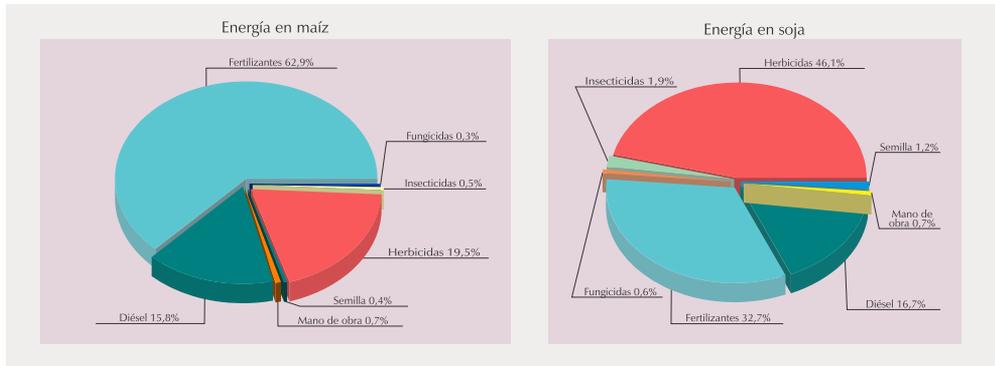


FUENTE: Los autores

En GEI se observa una dependencia de insumos distinta en maíz y soja. En maíz, las tres cuartas partes de las emisiones de GEI se deben a fertilizantes. En soja, más de la mitad de las emisiones se deben a la dependencia de los herbicidas, y el porcentaje de emisiones del combustible diésel es mayor para soja que para maíz.

En la comparación de la figura 2 observamos que los porcentajes de uso de diésel son similares en ambos cultivos. Cerca de dos tercios de la energía usada en maíz se deben a fertilizantes; mientras que en soja cerca de la mitad de la energía necesaria se debe a herbicidas.

FIGURA 2 - INCIDENCIA DE DISTINTOS INSUMOS EN LA DEMANDA DE ENERGÍA EN MAÍZ (PROMEDIO DE 3 COSECHAS) Y SOJA (PROMEDIO DE 2 COSECHAS)



FUENTE: Los autores

3.4 SUSTENTABILIDAD Y MÉTODOS DE CULTIVO ALTERNATIVOS

Debido a que el método convencional de cultivo estudiado tiene dependencia del uso de agroquímicos, es interesante comparar los resultados con estudios similares para cultivos orgánicos, que no utilizan agroquímicos de síntesis. En general, la energía usada y los GEI emitidos en cultivos orgánicos son similares a los convencionales. En cultivo de trigo en Dinamarca, Chirinda et al. (2010) concluyen que no existen reducciones en la emisión de N_2O en cultivos orgánicos fertilizados con abono animal. Estos autores investigaron distintas alternativas de cultivo orgánico y las compararon con el cultivo convencional con fertilizantes químicos, concluyendo que el menor rendimiento por ha en cultivo orgánico determina mayores emisiones por kg cosechado, que es la variable relevante en el balance de satisfacer la necesidad de alimento con la menor emisión de GEI posible. Williams et al. (2010) muestran que para el Reino Unido la producción de trigo orgánico requiere 17% menos energía pero produce 14% más de GEI; mientras que en cultivo de papas el método convencional tiene impacto algo menor en energía y GEI. En la comparación de los inventarios de ciclo de vida de los dos métodos, las reducciones en uso de agroquímicos en cultivo orgánico se compensan por menores rendimientos (entre 20% y 50% menor según el cultivo) y por aumento del uso de maquinaria. Este es un aspecto importante a tener en cuenta en el análisis de sustentabilidad, ya que, con la necesidad de mayor producción de alimentos para satisfacer el aumento de población, el rendimiento de los cultivos es esencial. Por otro lado, al presente, los cultivos orgánicos tienen gran dependencia del estiércol animal como fertilizante. En escenarios con posibles dificultades para satisfacer la necesidad alimentaria, se ha demostrado que las mayores reducciones en uso de recursos e impactos se lograrían a través de un cambio de dieta, orientada a una dieta con notable menor cantidad de productos de origen animal (PRADHAN et al., 2013; GONZÁLEZ et al., 2011). Esto produciría una disminución de recursos fertilizantes para cultivos orgánicos, con lo cual disminuirían los rendimientos aún más, y los impactos por kg de cultivo serían mayores.

Los cultivos estudiados aquí son también usados en alimentación animal. Thomassen et al. (2008) investigaron la producción de leche en Holanda con alimentación de granos de agricultura convencional (incluyendo la soja de Brasil) y con granos de cultivo orgánico. Por litro de leche producida encontraron que la energía usada es menor en sistemas orgánicos, los GEI son similares y el uso de tierra cultivable (medido en m² por litro de leche) es mucho mayor con métodos orgánicos. Nuevamente en este ejemplo, el rendimiento en litros de leche por ha resultó mayor con métodos convencionales. La sustentabilidad alimentaria depende del uso eficiente de la tierra, ya que no es posible compensar un aumento de la demanda con mayor superficie de tierra cultivable.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron datos muy detallados de las condiciones de cultivo y los insumos utilizados para maíz, soja y trigo en una finca de 24 ha en el Estado de Paraná, Brasil. Con esta información se realizó un inventario de ciclo de vida en energía y gases de efecto invernadero (GEI) con el objetivo de analizar la sustentabilidad del cultivo de alimentos convencionales y compararla con otras producciones. Para maíz y trigo, se encontró que los fertilizantes son el insumo crítico, mientras para soja los herbicidas demandan casi la mitad de la energía total usada y son responsables por más de la mitad de los GEI emitidos por kg de grano cosechado.

El combustible diésel es el tercero en importancia en cualquiera de los casos, y los requerimientos energéticos y GEI correspondientes a la semilla, los pesticidas, los fungicidas y la mano de obra son de importancia mucho menor. Se observa gran dependencia de este método de cultivo con insumos ajenos a la finca, lo cual podría mejorarse con métodos de cultivo orgánico. Sin embargo, otros autores han mostrado que estos métodos también presentan desafíos a la sustentabilidad: son más demandantes en combustible para maquinaria, usan abono animal proveniente de producciones intensivas externas a la finca, y los rendimientos en kg por m² de suelo cultivable son menores. Con ello los inventarios de energía y GEI dan resultados similares a los obtenidos en producciones con agroquímicos. Una estrategia de cambio de dieta, desplazando el énfasis de los productos de origen animal hacia los de origen vegetal, parece tener mayor potencial para mejorar las condiciones de sustentabilidad de la demanda de alimentos.

REFERENCIAS

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC). **Milho safrinha**. 2013. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 01 out. 2014.

CAMPOS A. T. et. al. Balanço energético na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, p.245-251, jan./fev. 2004.

CARLSSON-KANYAMA, A. Climate change and dietary choices—how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? **Food Policy**, v.23, n.3-4, p.277-293, 1998.

CARLSSON-KANYAMA, A.; GONZÁLEZ, A. D. Potential contributions of food consumption patterns to climate change. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.89, n.5, p.1704S-1709S, 2009.

CARLSSON-KANYAMA, A.; GONZÁLEZ, A.D. Non-CO₂ greenhouse gas emissions associated with food production: methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). **KHT**, 2007. Disponível em: <http://www.ima.kth.se/eng/respublic/emissions_report_17_set_ACK.pdf>. Acesso em: 01 out. 2014.

CHIRINDA, M. et al. Emissions of nitrous oxide from arable organic and conventional cropping systems on two soil types. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.136, p.199-208, 2010.

DUCHIN, F. Sustainable consumption of food: a framework for analyzing scenarios about changes in diets. **Journal of Industrial Ecology**, v.9, p.99-114, 2005.

GERBER, P. J. et al. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i3437e.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2014.

GONZÁLEZ A. D. Energy and carbon embodied in straw and clay wall blocks produced locally in the Andean Patagonia. **Energy and Buildings**, v.70, p.15-22, 2014.

GONZÁLEZ, A. D. et al. Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: potential contribution of diet choices to climate change mitigation. **Food Policy**, v.36, p.562-570, 2011.

HALLSTRÖM, E. et al. Sustainable meat consumption: a quantitative analysis of nutritional intake, greenhouse gas emissions and land use from a Swedish perspective. **Food Policy**, v.47, p.81-90, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 05 out. 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key world Statistics 2014**. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Manual de estadísticas energéticas**. 2007. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics_manual_spanish.pdf>. Acesso em: 05 out. 2014.

- LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, v.30, p.981-990, 2004.
- MARION, J. C. **Contabilidade rural**. 13.ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- McMICHAEL, A. et al. Food, livestock production, energy, climate change, and health. **The Lancet**, v.370, n.9594, p.1253-1263, 2007.
- PIMENTEL, D. Energy inputs in food crop production in developing and developed nations. **Energies**, v.2, p.1-24, 2009.
- PRADHAN, P. et al. Embodied greenhouse gas emissions in diet. **PlosOne**, v.8, n.5, p.1-8, 2013.
- STEHFEST, E. et al. Climate benefits of changing diet. **Climatic Change**, v.95, p.83-102, 2009.
- THOMASSEN, M. A. et al. Life cycle assessment conventional and organic milk production in the Netherlands. **Agricultural Systems**, v.96, p.95-107, 2008.
- WILLIAMS, A. G. et al. Environmental burdens of producing bread wheat, oilseed rape and potatoes in England and Wales using simulation and system modeling. **International Journal Life Cycle Assess**, v.15, n.8, p.855-868, 2010.