

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al

Grado De Ingeniero Agrónomo.

Modalidad Proyecto.

COMPARACIÓN DE BALANCES ENERGÉTICOS ENTRE
TECNOLOGÍA CONVENCIONAL VERSUS SIN AGROQUÍMICO EN
CULTIVO DE MAÍZ.

Alumno: Claudio Gastón Ribotta

DNI; 27337646

Director: Claudio Albincolo Demo

Codirector: Claudio Sarmiento

Río Cuarto, Córdoba, Argentina, Diciembre de 2011.

PRESENTACIÓN Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las tendencias actuales de la producción vegetal o animal de los agro-ecosistemas, tales como el uso intensivo de agroquímicos y fertilizantes, la producción de carnes estabuladas, la expansión del cultivo de soja, y el aumento del área sometida a riego suplementario utilizando agua subterránea, influyen negativamente sobre la sustentabilidad ambiental, productiva y social de las tierras (Cantú y otros, 2008).

Partiendo de la premisa que una actividad antrópica resulta más sustentable en cuanto garantice la mejor reproducción y evolución de la sociedad participante junto con su ambiente, se cree que es necesario obtener los mejores niveles de producción posible con la mayor equidad en la distribución de lo producido y la negativización de la tasa de deterioro ambiental (Geymonat y otros, 2010).

En relación a ello, conocida es la profunda dependencia que tiene la agricultura moderna de la energía fósil. El 17% de la energía consumida en el mundo se utiliza en la producción, distribución y suministro de productos agrícolas. Este porcentaje se divide de la siguiente manera: 4% a la producción, 5% al procesamiento, y 8% al transporte y distribución desde el campo hasta los mercados (Gerver, 1991).

La fabricación de la mayoría de los insumos agrícolas, como los agroquímicos, se hace procesando combustibles fósiles como materia prima. En particular, la principal fuente de consumo de energía viene dada por la fertilización con nitrógeno, que insume un 2% del consumo mundial de energía, correspondiendo más de la mitad a un solo cultivo, el maíz (Bradbury, 2009). En segundo término, se menciona el consumo de combustible para la maquinaria que ejecuta la labranza. Por otra parte, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático advierte que el sistema agroalimentario contribuye directamente con el 11% del total de gases emitidos con efecto invernadero.

A partir de la década del 70 con la crisis petrolera de 1973 hasta la actualidad se puede observar una amplia gama de trabajos que ponen especial atención a la relación entre las prácticas de labranza y los balances energéticos (Pimentel y Pimentel, 2005; Rathke, 2007; Di Leo, 2007, Khaledian, 2010, Marakoglu, 2010). En general, los autores plantean una relación directa de disminución del gasto energético en la medida que se disminuye la labranza y se ajusta adecuadamente la fertilización nitrogenada a la respuesta de producción. En referencia a

los egresos energéticos, se mejora el nivel de eficiencia en tanto las condiciones de producción permitan obtener altos niveles de rendimiento de producto (Geymonat y otros, 2010).

Según datos de la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes Argentina (CASAFE, 2010), durante el año 2009 se aplicaron en el país 260.532.065 litros de pesticidas, lo que representa unos 6,4 litros/habitante. El 63,3 % de ese volumen total corresponde a un solo herbicida, el Glifosato, utilizado masivamente en la producción de soja. También se aplicaron en Argentina 17.972.326 litros de insecticidas.

Desde cierto punto de vista, un aspecto positivo de la crisis energética es el de haber contribuido a motivar un nuevo tipo de análisis diferente al económico, centrado en el balance de los flujos energéticos que intervienen en la producción. Esto ha permitido demostrar cómo determinados procesos de innovación tecnológica, que desde la óptica de la economía convencional son totalmente plausibles, poseen en realidad una eficiencia inferior a otros cuando se analiza en términos físicos (Puntí, 1982).

Los efectos ambientales de la producción agrícola y el consumo de combustibles fósiles que son requeridos, pueden medirse a través de parámetros energéticos. Es decir, el balance energético es un indicador apropiado para medir y comparar la eficiencia de distintos sistemas de producción (Rathke, 2007).

Con esta problemática de marco es que se pretende hacer un primer enfoque sobre la metodología de Balance Energético en cultivo de maíz, analizando dos metodologías distintas de producción; la primera a la que llamaremos en adelante *convencional*, con alta utilización de agroquímicos para control fitosanitario, semilla genéticamente mejorada y sistema de labranza cero o siembra directa. La segunda la que en adelante llamaremos *sin agroquímicos*, con baja utilización o nula utilización de agroquímicos, semilla con poco a escaso mejoramiento genético, sistema de labranza mínima, control de malezas mecánico, uso de cultivos de barbecho, alelopatía, rotaciones para control de plagas y otras tecnologías de proceso de bajo costo económico.

FUNDAMENTACIÓN- IMPORTANCIA DEL TRABAJO

La veloz transformación tecnológica que atravesó la agricultura de nuestro país en los últimos años, ha sido evaluada de manera prácticamente excluyente desde una perspectiva económica pura, análisis que ha arrojado resultados optimistas acerca de los cambios tecnológicos introducidos (Pengue, 2000). Pero este tipo de evaluación dificultó percibir numerosos aspectos de la implementación del cambio tecnológico que han ido convirtiéndose en los eslabones débiles de la *sustentabilidad* de los mismos, por ejemplo *la crisis energética*, debido a que el sistema capitalista ha basado su fuente de energía en recursos fósiles, los cuales estarían próximos a extinguirse (Bradbury, W., Cleveland, C.L., Conforti, P., Giampietro, M., Gerver, J., Pfeiffer, D., Pimentel, D. y M. Pimentel, Hurd, L.E., Bellotti, A.C., Forster, M.J., Oka, I.N., Sholes, O.D., Whitman, R.J., Stirling, B.), esto afectaría gravemente a la agricultura que hoy conocemos donde su mecanización, fertilizantes, agroquímicos y semillas híbridas tienen una fuerte y exclusiva dependencia de energía fósil.

Si buscamos las fuentes de esta problemática llegamos a la denominada *Revolución Verde* que transformó profundamente la agricultura mundial mediante su industrialización y mecanización. Entre 1950 y 1984, la producción de grano mundial aumentó en un 250%, y por lo tanto la energía disponible para nuestra alimentación. Esta energía adicional no procedía de un incremento de la luz solar anual que hace posible la fotosíntesis, ni de poner a cultivar nuevas tierras. La energía de la Revolución Verde fue proporcionada por los combustibles fósiles en forma de fertilizantes (gas natural), pesticidas (petróleo) e irrigación alimentada por hidrocarburos. Este cambio aumentó la demanda de energía de la agricultura en una media de 50 veces la energía invertida en la agricultura tradicional. Para hacernos una idea de la intensidad energética de la agricultura intensiva moderna, basta citar que la producción de un kilo de fertilizante de nitrógeno requiere la energía equivalente a litro y medio de gasoil o que en los EE.UU. se necesitaban ya en 1990 más de 6 barriles de petróleo al año por cada hectárea agrícola productiva (Pfeiffer D. 2010).

Sin embargo, debido a las leyes de la termodinámica, en el proceso agrícola industrial hay una marcada pérdida de energía. Entre 1945 y 1994, la inversión energética en la agricultura aumentó 120 veces, mientras que los rendimientos de las cosechas sólo se multiplicaron por 90. Desde entonces, el costo energético ha continuado incrementándose sin un aumento correspondiente en la productividad. Hemos alcanzado el punto de los *retornos marginales*

decrecientes: la Revolución Verde está entrando en quiebra energética y amenaza con arrastrarnos (Pfeiffer D. 2010).

Hay una problemática concreta: el petróleo es un recurso finito y no se conoce si ya alcanzó el *peak-oil* (cénit, techo o pico del petróleo) numerosos autores dicen que si a partir del cual la producción del mismo alcanza su máximo y comienza su declive irreversible. Sobre esto las opiniones son diversas y no se puede comprobar hasta tanto transcurran varios años de producido el *techo*, por consiguiente es fundamental tener en cuenta que no sólo menguará el número de barriles de petróleo que se pongan cada año a disposición de la economía mundial, sino que será cada vez de peor calidad, más costoso y difícil de extraer y refinar, y – lo que en definitiva cuenta- con un valor energético cada vez más bajo.

En las últimas décadas ha habido una mejora en la eficiencia del uso del combustible en la maquinaria y en el uso de energía para la producción de fertilizante nitrogenado (Hülsbergen, K.-J. y otros 2001 y 2002), pero es poca la información disponible sobre los balances de energía a largo plazo, en relación con la labranza, gestión y rotación de cultivos y el efecto que las mejoras puedan tener en los saldos de energía y su impacto en el balance energético en el sistema de producción del cultivo.

Otro aspecto importante del costo energético es la importación de energía desde el mercado de Fertilizantes a los campos (granjas/ fincas) de producción; puesto que la elaboración de los Fertilizantes Nitrogenados sintéticos exige como materia prima el consumo de Petróleo o Gas Natural para su elaboración. Este tema contiene aspectos estratégicos (tipos de fertilizantes y formas de elaboración de los mismos) y políticos (intereses económicos) que escapan al control que puedan ejercer los productores agrícolas o los consumidores de los alimentos allí producidos. De todos modos queda claro que los fertilizantes repercuten en los costos de producción, en la productividad, y en la conciencia de una producción con manejo sustentable.

Cuando se utiliza fertilizante sintético nitrogenado (Urea, Sulfato de Amonio, Nitrato de Amonio, Amoniaco Anhidro, etc.) es inevitable el proceso de asimilación por "la ruta metabólica del Nitrógeno" debido a la fisiología nutricional de un cultivo; aquí se genera el gasto energético (Rodas P. et al., 2011), el cual tampoco es tenido en cuenta en este trabajo.

El presente pretende ser una exploración de la problemática a través del estudio comparativo de estos dos casos, con distintos modelos de producción.

Los cálculos se basaron en el análisis de procesos, ya que este enfoque fue considerado como el más adecuado y preciso para los sistemas agrícolas (Hülsbergen, K. et al., 2001). (Esto es metodología)

Un aspecto importante de este estudio es que se realizaron en sistemas de cultivos diferentes, pero de parcelas contiguas, por lo que las condiciones ambientales del lugar son similares, y esto permite una comparación válida entre los tratamientos.

Considerando estos temas de gran interés y poca difusión por el impacto que produciría en el modelo actual de producción, es por ello que se realiza esta exploración en la metodología, tratando de poner en conciencia de la problemática a los actuales y futuros profesionales de la agronomía y dejar a disposición todo el conocimiento o desarrollarlo para contrarrestar la problemática planteada.

ANTECEDENTES

El debate sobre los efectos ambientales causados por la producción de cultivos (por ejemplo, las emisiones de gases de efecto invernadero) y consumo de recursos energéticos fósiles no renovables, requieren información consistente sobre el impacto en los cultivos, actividades específicas y la sostenibilidad de los sistemas de producción de cultivos. Los parámetros en unidades de energía son significativos indicadores para evaluar y comparar el impacto, en el medio ambiente, de las prácticas agrícolas (Conforti Giampietro, 1997; Kelm, 2004).

Lo limitado del enfoque económico tradicional, para brindar mayores aportes al desarrollo sustentable, motivó entonces la búsqueda y aplicación de otras metodologías de evaluación de las tecnologías utilizadas con mayor asiduidad en la región para tratar de obtener conclusiones más precisas e integrales sobre las mismas, desde el punto de vista socioeconómico ambiental (Salminis y otros, 2005; Demo y otros, 2008) y reflexionar y proponer en consecuencia acerca de ellas (Geymonat y otros, 2010).

Las diferencias en las prácticas de gestión, tales como la tecnología agrícola, la labranza y rotación de cultivos o intensidad de uso, tienen efectos considerables en la entrada de energía y eficiencia energética de los sistemas de producción de cultivos.

Los cambios en la tecnología agrícola, con el tiempo han aumentado la cantidad de energía utilizada en la producción de cultivos. El uso de energía, en EE.UU., en agricultura, aumentó más de seis veces entre 1910 y 1978 y luego disminuyó 33% desde 1978 hasta 1990 (Cleveland, 1995a). Esta tendencia es consistente con los datos reportados para otros países desarrollados (Stirling, 1976; Conforti y Giampietro, 1997; Coxworth, 1997). Pimentel et al. (1973, 1990) y Smil et al. (1983) informaron que el aporte de energía promedio para la producción de maíz en los EE.UU. ha aumentado de aproximadamente 10 GJ/ ha en 1945 a más de 30 GJ/ ha en 1983.

Crookston et al., 1991, afirmó que las rotaciones de cultivos han sabido ser útiles para aumentar los rendimientos de los mismos. El maíz y la soja producen rendimientos más altos cuando se cultivan en rotaciones que en monocultivo. Los cultivos producidos en rotaciones con leguminosas, se supone son energéticamente favorables comparados a los que no involucran rotaciones con leguminosas, debido a la reducción de fertilizantes nitrogenados (Strasil, 1990; Varvel y Wilhelm, 2003).

En los sistemas de cultivo que usan fertilizantes comerciales, especialmente Nitrógeno, utilizan una mayor cantidad de energía que sistemas que no usan fertilizantes comerciales (Hülsbergen, K. et al., 2001, 2002; Rathke et al., 2002; Rathke y Diepenbrock, 2006).

Cleveland (1995b) sugiere que el balance energético mostró fuertes retornos decrecientes a los aumentos en el consumo de energía por hectárea de tierra. Swanton et al. (1996) concluyó que el uso de energía puede no haber disminuido, pero como los rendimientos de los cultivos han aumentado, debido a la mejora genética, lo que resulta en una mayor eficiencia energética y a un balance energético positivo en la producción de cultivos.

Por lo tanto, la eficiencia energética se puede aumentar al disminuir el consumo de energía a partir de insumos como los fertilizantes o las operaciones de labranza (gasoil) o por las salidas de cada vez mayores rendimientos de los cultivos (Swanton et al., 1996).

En la búsqueda de alternativas agro-productivas sustentables, sugiere a las instituciones de formación y a los profesionales, estudiar, analizar, discutir, aportar, mejorar y aplicar la Agricultura Orgánica o Agroecología, porque provee las bases científicas y metodológicas para la producción de alimentos independientemente del uso masivo de pesticidas, fertilizantes, y de fuentes de energía no renovables. Los sistemas productivos agroecológicos son biodiversos, resistentes, energéticamente eficientes, socialmente justos y conforman la base de una estrategia de soberanía alimentaria y energética (Gliessman, 2000).

En otras palabras buscar la sustentabilidad en los sistemas productivos, tomando como concepto de referencia para el presente, el propuesto por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), en virtud de considerarlo apreciablemente abarcativo: *“...El desarrollo es la vía que el pueblo utiliza para satisfacer sus necesidades y mejorar sus vidas. El desarrollo sustentable es un proceso de mejoría económica y social, que satisface las necesidades y valores de todos los grupos interesados, manteniendo las opciones futuras y conservando los recursos naturales y la diversidad...”*. Es un concepto complejo que incorpora los siguientes principios, cada uno de los cuales es aplicable de otras maneras a todas las actividades de desarrollo (En Demo y otros, 1999):

*La sustentabilidad ecológica exige que el desarrollo sea compatible con el mantenimiento de los procesos ecológicos, la diversidad biológica, y los recursos biológicos.

*La sustentabilidad social exige que el desarrollo aumente el control que la gente tiene sobre sus vidas y que se mantenga y fortalezca la identidad de la comunidad.

*La sustentabilidad cultural exige que el desarrollo sea compatible con el respecto a la cultura, entendiéndola, como aquellos valores, ideas, conocimientos, actitudes y símbolos cargados de "sentido" para los pueblos afectados.

*La sustentabilidad económica exige que el desarrollo sea económicamente eficiente y equitativo dentro y entre generaciones.

Así, el concepto de sustentabilidad que se intenta abordar excede la mera conservación de los recursos naturales y del medio ambiente, para convertirse en la expresión de un desarrollo económico y social estable y equitativo (Pengue, 2003).

De todo lo expuesto previamente se desprenden los objetivos de este trabajo:

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo principal:

Comparar exploratoriamente, la eficiencia energética en el cultivo de maíz bajo dos sistemas de producción, uno convencional y otro sin agroquímicos, para dejar un punto de partida o problemática planteada a futuras investigaciones que permitan incorporar otro plano de evaluación para los sistemas productivos.

Objetivos secundarios

- Estudiar y poner en práctica el método de Balance Energético.
- Determinar resultados (balance, indicadores, índices, eficiencias, etc.) y analizar los mismos.
- Reflexionar sobre las posibilidades de la producción sin agroquímicos respecto a la sustentabilidad.

Hipótesis:

El maíz producido bajo técnicas alternativas posee balances energéticos con mejores resultados que el maíz producido bajo técnicas convencionales, lo que permite mejorar la sustentabilidad socioeconómica y ambiental de la producción de maíz en el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Al explicar la metodología utilizada, diremos primero que los parámetros en unidades de Energía se pueden utilizar para evaluar la eficiencia de los sistemas de producción y realizar comparaciones entre los mismos (Haciseferogullari et al., 2003).

Para evaluar la sostenibilidad de la agricultura a través de la eficiencia energética en los sistemas de producción de cultivos, deben ser consideradas todas las entradas y salidas de cada sistema y debe ser expresada en términos y unidades de energía (Pervanchon et al. 2002).

Por lo tanto, la energía de entrada y la producción, son dos factores importantes para determinar la eficiencia energética y el balance energético de los sistemas de producción del cultivo de maíz para poder usarlos como herramienta de comparación de los mismos (indicador) en lo que respecta a impacto ambiental, sin desmerecer, ni dejando de lado, el análisis económico tradicional.

A partir de la información física generada en cada caso de estudio, se analizó energéticamente los diferentes planteos de producción de maíz allí desarrollados, el convencional y el sin agroquímicos, de las últimas tres campañas agrícolas.

Área de trabajo

La recopilación de datos, en ambos casos de estudio, se desarrolló en la zona rural al norte de la localidad de Reducción, departamento Río Cuarto, ubicada en el Km. 557 de la Ruta Nacional N° 8, hacia el oeste del Dpto. Juárez Celman, en el sur de la provincia de Córdoba, distando a 50 Km. de la ciudad de Río Cuarto y a 60 Km. de La Carlota, sureste de la provincia de Córdoba, Argentina.

La ubicación georreferenciada de los lotes comparados es 33° 09' 50.49" S 63° 48' 22.32" W 250 msnm, en la entrada a los mismos sobre camino rural vecinal.

El clima regional es subhúmedo a semiárido con estación seca invernal, con moderado a importante déficit hídrico. Las lluvias anuales son de 750 mm y la temperatura media anual es de 17 °C. El relieve es suavemente ondulado con llanuras bien drenadas. Los suelos predominantes son Haplustoles típicos con distintos niveles de degradación. (Cantero Gutiérrez, A. y otros, 2005)

Fuente de datos

El diseño general de experimentación consiste en el estudio de dos casos o modelos de producción, uno sin agroquímicos y otro convencional. Dichos casos son lotes contiguos y no fueron realizados en el marco de un diseño estadístico por lo cual no se tiene precisión sobre el error que incluyen las muestras, pero para el objetivo de este trabajo exploratorio no es una situación determinante si se desea realizar un primer acercamiento a la problemática, siendo lo más importante la utilización del método de Balance Energético.

El cultivo empleado en la caracterización energética de los modelos de producción es maíz (*Zea mays* L.). Se definen dos tipos de producción en estudio, caracterizados cada uno de ellos por modelos diferentes.

Los aspectos relevados en los distintos cultivos comprenden: tipo de cultivo, densidad y superficie sembrada, tipo y dosis de fertilizantes, tipo y dosis de pesticidas, operaciones realizadas para la preparación de la cama de siembra, siembra, protección, fertilización y cosecha.

Las campañas analizadas comprenden a la de los años 2008/2009, 2009/2010 y 2010/2011. Las precipitaciones se ofrecieron en igual proporción para cada caso, ya que a pesar de no utilizarse igual fecha de siembra, la misma no varió más de una semana respecto a otra, dándose en condiciones de *siembra temprana* (campaña 2009/2010) en la primera quincena de octubre y *Siembra tardía* (campañas 2008/2009 y 2010/2011) en la primera quincena de diciembre.

En base a los datos disponibles en cada uno de los trabajos mencionados se establece un registro de entradas y salidas de insumos y productos (granos), respectivamente, por unidad de superficie. Tanto las entradas como los egresos son convertidos a unidades de energía (Mj.) por unidad de superficie para finalmente establecer el balance de energía correspondiente a cada modelo.

Se realizan, además, las relaciones entre la energía ingresada al sistema y la producida en el mismo, obteniéndose así la Eficiencia Energética del Modelo para cada cultivo, como el cociente entre el total de energía producida y el total de energía ingresada al sistema, y el Índice de Productividad Cultural (IPC), propuesto por Dos Santos (1994), calculado como el cociente entre los kilogramos de granos producidos y los Mj. de energía ingresados al sistema.

Por otra parte se asigna a cada una de las labores realizadas en los cultivos estudiados un tiempo operativo expresado en horas por hectárea.

Cuadro 1: Labores según tiempo asignado

Labor y Tiempo operativo (h/ha).

Labor	H/ha
Cinzel	1.52
Cultivador de campo o múltiple	0.32
Rastra de discos	0.25
Rastra rotativa	0.14
Escardillo	0.2
Siembra mínima labranza	0.3
Siembra directa o labranza cero	0.4
Cosecha	0.4
Pulverización	0.047

Los valores de referencia seleccionados para las labores son los propuestos por Pereira dos Santos y col. (2000), que se exponen en el Cuadro 1

A partir de esta información se determina la cantidad de horas - hombre requeridas por cada cultivo, en cada uno de los modelos tecnológicos analizados. Se establece la Productividad Energética de la Mano de Obra, como la relación entre la cantidad de energía producida por el cultivo (Mj./ha) y la cantidad de horas necesarias para producir el mismo en una hectárea.

Cálculo de los indicadores relacionados al ingreso y egreso de energía

Los parámetros energéticos determinados para arribar al cálculo del balance energético (Hülsbergen, 2001) son:

- Todas las entradas y salidas de un sistema de cultivo pueden ser expresadas en términos de energía. En consecuencia, la energía insumida y la producción son dos variables

trascendentes para determinar la eficiencia energética y el impacto ambiental de un sistema productivo.

• Para determinar el Balance Energético de las diferentes prácticas de labranza se recurre al Método de Hülsbergen, K. et al (2001)⁽¹⁾. El mismo consiste en identificar la totalidad de insumos y prácticas utilizadas, adicionando su valor calórico para conformar la totalidad de la Energía Ingresada. Luego, contrastando con la Energía Egresada (*cosechada*) se llega a la Energía Neta y a la Relación Egreso/Ingreso, que es el indicador utilizado a modo de eficiencia en el uso de la energía⁽²⁾:

Energía directa (ED): Ingreso de gasoil (considerando el valor UTA de cada labor).

Energía indirecta (EI): Semillas + Fertilizantes + Pesticidas

Ingreso de energía (IE): $IE = ED + EI$

Egreso de energía (EE): Biomasa cosechada

Balance de energía o Energía neta (EN): $EN = EE - IE$

Relación Egreso/Ingreso (Re) o Eficiencia Energética: $Re = EE / IE$

Índice de Productividad Cultural: (IPC) $IPC = Kg. granos. ha^{-1} / Mj. ha^{-1}$

⁽¹⁾ En: Di Leo, N. y otros (2007).

⁽²⁾ El *Balance Energético* debe diferenciarse del *Balance Ecológico*, en el sentido que en el primero no se computa el costo energético para la fabricación de las herramientas e insumos sino solamente su valor calórico (Puntí, 1982).

Cuadro 2: Valores de referencia para cada insumo

Concepto Unidad Energía (Mj./unidad)

Semillas

Maíz	Kg	32,99
------	----	-------

Operaciones

Siembra directa, maíz.	Ha	368,05
Siembra convencional.	Ha	364,40
Fertilización.	Ha	99,59
Protección de cultivos.	Ha	99,59
Cosecha, maíz	Ha	866

Pesticidas

Herbicida	cm ³	0,418
Insecticida	cm ³	0,364
Fungicida	cm ³	0,272
Curasemillas	cm ³	0,136

Fertilizantes

Nitrógeno (N)	Kg.	77,63
Fósforo (P)	Kg.	6,035

Azufre (S)	Kg.	9,74
Potasio (K)	Kg.	14,41
Inoculante	cm ³	0,0113

Labores

Rastra de disco	Ha	259,80
Arado de cinceles	Ha	281,45
Cultivador de campo	Ha	238,15
Rastra de dientes	Ha	103,92
Arado de rejas	Ha	627,80
Rastra rotativa	Ha	129,90
Escardillo	Ha	176,30

Granos

Maíz	Kg.	16,54
------	-----	-------

Los valores de referencia seleccionados para los diferentes insumos fueron los propuestos por Pereira dos Santos y col. (2000), que se exponen en el Cuadro 2.

Para el cálculo de los indicadores seleccionados se emplean datos de labores e insumos de cada modelo tecnológico en las siguientes tablas son detallados.

Cuadro 3. Energía ingresada al método sin agroquímicos.

LABORES	Cantidad	E en Mj.	Mj./ha	Hs/Ha
Arado de cinceles	1	281,45	281,45	1,52
Cultivador de campo	1	238,15	238,15	0,32
Siembra convencional	1	364,4	364,40	0,30
Rastra rotativa	1	129,9	129,90	0,14
Escardillo	2	176,3	352,60	0,40
TOTALES			1366,50	2,68

Cuadro 4. Resumen energía ingresada al método sin agroquímicos.

ÍTEMS.	Cantidad Un/Ha	ENERGÍA TOTAL	
		Mj./ha	MJ
Labores	1366,50	1366,50	1366,5
Cosecha	866,00	866,00	866
Semilla Maíz (Kg.)	593,82	593,82	593,82
TOTALES		2826,32	

Cuadro 5. Energía ingresada al método convencional.

LABORES	Cantidad	E en Mj.	Mj./ha	Hs/Ha
Pulverización de barbecho	1,00	99,59	99,59	0,047
Siembra directa	1,00	368,05	368,05	0,40
Pulverización de cultivo	2,00	99,59	199,18	0,094
Fertilización	1,00	99,59	99,59	0,047
TOTALES			766,41	0,59

Cuadro 6. Resumen energía ingresada al método convencional

ÍTEMS.	Cantidades Un/Ha	Mj./unidad	ENERGÍA TOTAL	
			Mj./ha	MJ
Labores	1	766,41	766,41	766,41
Cosecha	1	866,00	866	866
Semilla Maíz (Kg.)	18	39,42	709,56	709,56
Curasemillas	200	0,136	27,2	27,2
Glifosato	7000	0,418	2926	2926
DAP	110	6,035	663,85	663,85
Uan	90	77,63	6986,7	6986,7
TOTALES			12945,72	

PLAN DE TRABAJO

Para poder ejecutar el método de investigación propuesto se desarrollaron las siguientes actividades:

A. Revisión bibliográfica y discusión de los conceptos más importantes que engloban el marco teórico del proyecto del cual depende este trabajo, como así también la profundización de los temas involucrados en éste.

B. Participación en la discusión y elección de los criterios para la selección de los distintos casos.

C. Determinación de los casos a estudiar a nivel del proyecto de trabajo final.

D. Ajustes del cuestionario pre-diseñado de acuerdo a las observaciones realizadas en la realidad, para la obtención de la información.

E. Viajes a los establecimientos para la recopilación de datos, mediante cuestionarios realizados a los agricultores; y la observación de las prácticas y técnicas productivas de los mismos.

F. Organización de los datos de los cuestionarios para su posterior procesamiento.

G. Elaboración de informes parciales y finales.

H. Publicaciones y comunicaciones finales.

CRONOGRAMA DE REALIZACIÓN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
B		■	■									
C			■	■								
D				■								
E					■	■	■	■				
F									■	■		
G					■						■	■
H											■	■

Los números representan los meses del calendario y las letras las actividades a realizar.

RESULTADOS

En esta fase del estudio se confrontan un conjunto de parámetros seleccionados de los dos modelos.

Los resultados que se presentan constituyen un análisis descriptivo de los modelos tecnológicos desde una perspectiva energética. No se incluye la variabilidad de los datos que se expresan aquí como promedio, debido a que se emplean, como fuente, trabajos de otros autores e informantes calificados, respectivamente.

Los modelos tecnológicos empleados en el cultivo de maíz evolucionaron en el tiempo haciendo uso de la energía de manera más o menos eficiente dependiendo de la técnica de producción y del origen de dicha energía.

Es interesante observar que la cantidad total de energía empleada por el método Sin agroquímicos fue menor, en promedio, en las tres campañas analizadas (2826,32 Mj. / Ha) con respecto al modelo convencional (12945,72 Mj. / Ha). Así también, el origen de los insumos que conforman el ingreso de energía al sistema, provienen, en su mayoría, del combustible usado para la labranza en el modelo sin agroquímicos y para el modelo convencional en fertilizantes y agroquímicos. A su vez, el rendimiento del cultivo fue en promedio de las tres campañas analizadas de 4497 Kg./Ha en el modelo sin agroquímicos y de 7543 Kg./Ha en el modelo convencional.

Las características de la modalidad productiva de maíz sin agroquímicos, refleja un claro predominio del ingreso energético, derivado del empleo de combustibles (energía directa) para el laboreo (48,35%), el cual tiene como finalidad el control de malezas, liberar nutrientes y preparar la cama de siembra.

En cambio el método tecnológico predominante en la actualidad en la producción de maíz (al que se denomina en este trabajo *convencional*) y por estar basado en siembra directa, el uso de fertilizantes y herbicidas adquiere relevancia ya que éstos reemplazan a las labores, representan el primero y segundo ítem, respectivamente, en importancia en el consumo de energía en este modelo.

Cuadro 7. Rendimiento promedio de cada método en las tres campañas analizadas

Periodo	Convencional QQ/Ha	Sin agroquímicos QQ/Ha
2008/2009	61,30	37,30
2009/2010	86,40	46,40
2010/2011	78,60	51,20
Promedio general	75,43	44,97

La eficiencia energética expresada en Mj. de energía egresada (EE) por cada Mj. de energía Ingresada (IE), fue de 26,32 para el modelo sin agroquímicos y de 9,64 para el modelo convencional.

Cuadro 8. Resultado y balance energético del método sin agroquímicos.

Rendimiento. Maíz (QQ)	44,97
Energía Neta(Mj./QQ)	1654,00
Energía producida Mj. (EE)	74374,87
Costo energético Mj. totales o ingreso E (IE)	2826,32
Balance Energético Mj.	71548,55

Cuadro 9. Indicadores de eficiencia método sin agroquímicos.

EFICIENCIA ENERGÉTICA =EE/IE	26,32
IPC = KGS PROD/MJS INGRESADOS	1,59

Cuadro 10. Resultado y balance energético del método convencional.

Rendimiento. Maíz (QQ)	75,43
Energía Neta(Mj./QQ)	1654,00
Energía producida Mj. (EE)	124766,73
Costo energético Mj. totales o ingreso E (IE)	12945,72
Balance Energético Mj.	111821,01

Cuadro 11. Indicadores de eficiencia método convencional

EFICIENCIA ENERGÉTICA =EE/IE	9,64
IPC = KGS PROD/MJS INGRESADOS	0,58

El incremento registrado en los rendimientos del modelo convencional, podría estar basado principalmente en la combinación de condiciones edáficas de mayor agua disponible que contribuyeron a definir el rendimiento, el mejoramiento genético aplicado al cultivo y la fertilización realizada, aspectos que no se consideran en el método sin agroquímicos, ya que el control de malezas es mecánico con remoción de suelo y consecuente pérdidas de agua y el maíz sembrado no es un híbrido sino una variedad de polinización abierta estabilizada, de menor potencial que un híbrido simple (material utilizado en el modelo convencional) pero de alta estabilidad ante condiciones climáticas adversas. Estas variables desempeñan un rol decisivo en el resultado del balance energético. (Ver Cuadro 8 y 10 rendimientos).

Cuadro 12. Análisis de variabilidad método sin agroquímicos.

Rendimiento QQ	Eficiencia Energética	IPC	MB E Mj.
10	1,31	0,08	3897,38
20	2,62	0,16	20437,38
30	3,92	0,24	36977,38
40	5,23	0,32	53517,38
50	6,54	0,4	70057,38
60	6,85	0,47	86597,38
70	9,16	0,55	103137,38
80	10,47	0,63	119677,38
90	11,77	0,71	136217,38

Por otra parte, esta variación en el rendimiento no mejoró la relación entre la cantidad de materia seca producida en forma de granos y la energía empleada, señalada como Índice de Productividad Cultural (IPC), siendo de 1,59 Kg. /Mj. para el modelo sin agroquímicos y de 0,58 Kg. /Mj. en el modelo convencional, lo que muestra una eficiencia mucho mayor en el sistema Sin agroquímicos. (Ver cuadro 9 y 11)

Analizando el modelo convencional se puede observar que disminuyó la proporción de energía directa respecto del modelo sin agroquímicos, incrementándose en forma relativa los inputs de herbicidas y fertilizantes. Estos últimos representaron el mayor insumo energético (81.9%). A su vez, la cantidad total de energía empleada es 5 veces mayor respecto al método sin agroquímicos. El incremento en el rendimiento registrado en promedio de las tres campañas analizadas fue sólo de 1.7 veces mayor con respecto al modelo sin agroquímicos, lo que, sumado al mayor consumo de energía, da por resultado una disminución en eficiencia energética y en el IPC. (Ver cuadro 8 y 10)

Cuadro 13. Análisis de variabilidad método convencional.

Rendimiento QQ	Eficiencia Energética	IPC	MB E Mj.
10	6,56	0,4	14016,78
20	13,11	0,79	30556,78
30	19,67	1,19	47096,78
40	26,22	1,59	63636,78
50	32,78	1,98	80176,78
60	39,33	2,38	96716,78
70	45,89	2,77	113256,78
80	52,44	3,17	129796,78
90	59	3,57	146336,78

Otro aspecto a considerar en la comparación entre los modelos analizados es el requerimiento de mano de obra, registrándose una disminución en el modelo convencional (0.59 Hs/Ha) con respecto al sin agroquímicos (2.68 Hs/Ha), esto debido a la consolidación del sistema de siembra directa en el modelo tecnológico, lo que implicó la desaparición casi total del laboreo del suelo, quedando el empleo de mano de obra vinculado principalmente a tareas como la fertilización y la pulverización, con alta eficiencia operativa. La conjunción del incremento en los rendimientos (mayor producción de energía) del cultivo de maíz con la reducción en el laboreo, incrementó la Productividad Energética de la Mano de Obra (PEMO) a favor del modelo convencional a razón de 189527.14 Mj./Hs contra 26697.22 Mj./Hs del modelo sin agroquímicos.

Análisis de los resultados

En términos generales, se observa una intensificación del uso de energía en el modelo convencional, con disminución de la eficiencia energética a nivel de cultivo, lo que responde inversamente en el modelo sin agroquímicos, de alta eficiencia energética con bajos inputs de energía en insumos y alto uso de tecnología de procesos como por ejemplo uso de cultivos invernales en barbecho con efectos alelopáticos sobre las malezas OIP. e incremento de la productividad energética de la mano de obra.

En un enfoque meramente eficientista del uso de la energía se produce un cruce de contradicciones respecto a la mano de obra y tiempo operativo, con eficiencia energética. En tiempo operativo, es más eficiente el modelo convencional, ya que por el tipo o método en la labranza (siembra directa) un tractor de alta potencia operado por una sola persona (escala), resulta conveniente en uso de combustible y en mano de obra. Como consecuencia negativa se expulsa mano de obra del sistema. En contraposición, el modelo sin agroquímicos demanda más tiempo operativo de labranza, con tractores de distinta potencia debido a la exigencia de cada una de ellas en particular (labranza primaria, siembra, labores culturales, etc.), y esto lo hace menos eficiente en el uso de la energía (gas oil). Por lo anterior y en consecuencia demanda más mano de obra.

También es interesante analizar que, la metodología utilizada para la producción de maíz, a través de una técnica alternativa, impone el sistema productivo convencional de baja eficiencia energética, tiene poco estudio y podría mejorarse mucho haciéndolo más eficiente todavía, considerando la sustentabilidad en el tiempo de los recursos, ya que algo negativo que posee este método es el laboreo del suelo con los disturbios y consecuencias negativas que esto acarrea como la degradación del recurso suelo, el cual no es renovable por lo menos en tiempo humano y las tecnologías de las que se dispone actualmente. Este sería otro desafío para los profesionales de la Agronomía de estos tiempos.

CONCLUSIONES

Se pudo aplicar positivamente el Método de Balance Energético para comparar dos casos, con distinta metodología aplicada en cada uno, más allá de la evaluación económica tradicional.

Las prácticas de manejo (labranza, pesticidas, fertilizantes, rotación de cultivos) que se usan en un sistema de producción de cultivos afectan el balance de energía de ese sistema. Muchos sistemas de labranza se utilizan en la agricultura. El uso de labranza mínima, conservacionista y la siembra directa, se asocian con menor consumo de energía relativa comparados con los sistemas de labranza convencional como arado de reja y vertedera (Uri, 1999, 2000). Sin embargo, la labranza cero o sistemas de labranza mínima y conservacionista a menudo requieren un mayor uso de plaguicidas (Canel y Hawes, 1994).

Se observó en el período analizado, una clara evolución de la forma de uso de la energía, con agros ecosistemas que adoptaron un perfil de consumo de energía basado en cantidades crecientes de insumos como agroquímicos y fertilizantes.

Los actuales agros ecosistemas mantienen valores positivos de eficiencia energética. La incorporación de tecnología genética en los cultivos (aspecto no considerado como input energético en la metodología de balance) explicaría en parte este aspecto. El cultivo de maíz producido con el modelo convencional es menos eficiente en el uso de la energía, pero se obtiene grandes volúmenes de energía por unidad de superficie.

El actual modelo convencional de siembra directa resultó el más eficiente respecto de la productividad energética de la mano de obra.

El modelo sin agroquímicos de producción de maíz es muy eficiente en el uso de la energía ingresada al sistema pero las cantidades de energía producidas por unidad de superficie es considerablemente menor al modelo convencional.

La mano de obra necesaria para el modelo sin agroquímicos es alta y debe ser capacitada para poder entender y realizar los procesos productivos de manera eficiente en tiempo y forma, ya que errores productivos que serían mínimos para el modelo convencional pueden ser determinantes de éxito o fracaso productivo económico en el sistema sin agroquímicos.

Como este es un primer estudio de casos reales en la región, se recomienda profundizar la investigación de esta problemática, incorporando un *balance ecológico*, además de tener en cuenta variables como: el mejoramiento genético, el costo energético real de producción de fertilizantes, los cuales no fueron considerados en este estudio.

BIBLIOGRAFIA

Bradbury, W., 2009. "Energía, alimentación y gases de efecto invernadero". En: <http://www.ecoport.net/content/view/full/89377>.

Cantero Gutiérrez, A. y otros, 2005. Reja Cero Patente N° AR 006081B1 13/07/05.

Cantú, P, Becker, A, y J. Bedano, 2008. "Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en los Sistemas Agropecuarios". Dpto. de Imprenta y Publicaciones UNRC. Río Cuarto.

CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes), 2010. <http://www.casafe.org>

Cleveland, C.L., 1995a. The direct and indirect use of fossil energy and electricity in USA agriculture, 1910–1990. *Agric. Ecosyst. Env.* 55, 111–121.

Cleveland, C.L., 1995b. Resource degradation, technical changes, and the productivity of energy us in US. *Ecol. Econ.* 13 (3), 185–201.

Conforti, P., Giampietro, M., 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agric. Ecosyst. Env.* 65, 231–243.

Coxworth, E., 1997. Energy use trends in Canadian agriculture: 1990–1996. Report to Canadian Agricultural Energy End Use Data Analysis Centre. University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., 26 pp.

Crookston, R.K., Kurle, J.E., Copeland, P.J., Ford, J.H., Lueschen, W.E., 1991. Rotational cropping sequences affects yield of corn and soybean. *Agron. J.* 83, 108–113.

Demo, C., 2002: "La modernización agropecuaria de la llanura pampeana cordobesa: algunas reflexiones sobre sus efectos" Primer Foro Regional de Biodiversidad y Sustentabilidad. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Córdoba. 10/ 2002.

Demo, C.; Salminis, J., y M. Geymonat, 2008. "Evaluación de la sustentabilidad de prácticas agrícolas en la llanura ondulada del sur de Córdoba". 2° Congreso Regional de Economía Agraria, 3° Congreso Rioplatense de Economía Agraria y 39° Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. 5 al 7 de Noviembre de 2008. Montevideo, Uruguay.

Demo, C; Montoya, G.; García, B. y R. Morón, 1999. "El Banco Mundial y el Desarrollo Sustentable: algunas reflexiones sobre su perspectiva". En: Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía. Universidad Nacional Autónoma de México, Vol. 30, N° 118.

Di Leo N. y otros, 2007. "Balance energético en unidades de tierra de una cuenca rural basado en sistemas de información geográfica" Revista FCA- UNCuyo. Tomo XXXIX N°1, 41-57. Mendoza.

Dos Santos, H.P.; Fancelli, A.; E. Melo Reis. (1994). "Balanço energético de sistemas de rotação de culturas para trigo, em plantio direto", en: Pesquisa Agropecuaria. Brasileira. V.29, n° 7, Pág.: 1067-1073

Gerver, J., 1991. "Beyond Oil" University of Colorado, 1991, pag. 172. En: Guerra, J. C., "El petróleo y los alimentos". <http://www.rebellion.org/noticias/2007/10/57390.pdf>

Hacisferogullari, H., Acaroglu, M., Gezer, I., 2003. Determination of the energy balance of the sugar beet plant. Energy Sources 25 (1), 15–22.

Gliessman, Stephen R: Agroecología: processos ecológicos em agricultura sustentável - Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000

G.-W. Rathke et al. / Soil & Tillage Research 97 (2007) 60–70

Hülsbergen, K.-J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.-W., Kalk, W.-D., Diepenbrock, W., 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. Agric. Ecosyst. Env. 86, 303–321.

Hülsbergen, K.-J., Feil, B., Diepenbrock, W., 2002. Rates of nitrogen application required to achieve maximum energy efficiency for various crops: results of a long-term experiment. Field Crops Res. 77, 61–76.

Khaledian, M., Mailhol, R., Ruelle, J., y S. Perret (2010). "The impacts of Direct Seeding in top mulch on the energy balance of crop production systems in the SE of France". En: Soil and Tillage Research 106 (2010) 218-226. Journal: <http://www.elsevier.com/locate/still>

Marakoglu, T. y K. Çarman, 2010. "Energy balance of direct seeding applications used in wheat productions in middle Anatolia". En: African Journal of Agricultural Research, Vol. 5 (10) 988-992. Mayo 2010. <http://www.academicjournals.org/AJAR>.

MECON, Ministerio de Economía, 2010. "Tabla de Conversión Energética". En: <http://energía.mecon.gov.ar>

Pengue, W., 2000. "Pequeños y medianos agricultores en vías de extinción. Los granos a los barcos ¿y los chacareros, adónde?". *Le Monde Diplomatique*, El Dipló. Diciembre, 2000.

Pfeiffer, D., 2010. "Comiendo combustibles fósiles". *Revista de agroecología* N° 23, Pag 18. Mayo 2011.

Pimentel, D. y M. Pimentel, 2005. "El uso de la energía en la agricultura. Una visión general". En: *Energía en la Finca*, Volumen 21, N° 1, Junio de 2005. <http://www.Public2010/Investigación/Pimentel/energia/agricultura.htm>.

Pimentel, D., 2003. Ethanol fuels: energy balance, economics, and environmental impacts are all negative. *Nat. Resour. Res.* 12, 127– 134.

Pimentel, D., Hurd, L.E., Bellotti, A.C., Forster, M.J., Oka, I.N., Sholes, O.D., Whitman, R.J., 1973. Food production and the energy crisis. *Science* 182, 443–449.

Pimentel, D., Dazhong, W., Giampietro, M., 1990. Technological changes in US agricultural energy use. In: Gliessmann, S.R. (Ed.), *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Springer, New York, pp. 305–321.

Puntí, A., 1982. "Balance energético y costo ecológico de la agricultura española". *Revista Agricultura y Sociedad*, N° 23. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Rathke, G.-W., 1999. Auswirkung von Vorfrucht und Stickstoff (N)-Du"ngung auf die Energiebilanz des Winterrapsanbaus. *Cuvillier Verlag* (Engl. summary).

Rathke, G.-W., Diepenbrock, W. 2006. Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and previous crop. *Eur. J. Agron.* 24, 35–44.

Rathke, G.-W., Ko"rschens, M., Diepenbrock, W., 2002. Substance and energy balances in the "static fertilisation experiments Bad Lauchsta"dt". *Arch. Acker Pfl. Boden.* 48, 423–433.

Rodas P. Asesor Privado en Nutrición Vegetal, 2011. Fertilizantes y costo energético.

Salminis, J., Demo, C., y M. Geymonat, 2005. "Evaluación de la sustentabilidad de alternativas tecnológicas para el desarrollo agropecuario en la llanura ondulada del sur de Río Cuarto". 36° Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria, AAEA. 10/2005. Facultad. de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, B.A.

Salminis, J., Geymonat, M., y C. Demo, 2006. "Evaluación de la sustentabilidad socioeconómica y ambiental de diferentes técnicas agrícolas: Aplicación experimental del

marco de evaluación Mesmis”. 37^o Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria, AAEA. 10/2006. Villa Giardino, Córdoba.

Salminis, J.; Geymonat, M. y C. Demo, 2007. “Estudio comparativo de la sustentabilidad económica y ambiental entre sistemas agrícolas y agrícola-ganaderos”. 38^o Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. AAEA. Octubre 2007. Ciudad de Mendoza. pp. 63.

Stirling, B., 1976. Use of Non-renewable Energy on Saskatchewan Farms: A Preliminary Study. Saskatchewan Research Council, Province of Saskatchewan, Regina, Sask., 38 pp.

Strasil, Z., 1990. Energetická bilance osevních postupů sružnou strukturou plodin. Rostlinná Vyroba 36, 1–7 (Engl. summary).

Swanton, C.J., Murphy, S.D., Hume, D.J., Clements, D.R., 1996. Recent improvements in the energy efficiency of agriculture: case studies from Ontario, Canada. Agric. Syst. 52 (4.), 399–418.

Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., 2003. Soybean nitrogen contribution to corn and sorghum in western corn belt rotations. Agron. J. 95, 1220–1225.