El balance energético en la producción de biodiésel de aceite de palma

Dos estudios de caso: Brasil y Colombia

Autores

Electo Eduardo Silva L.
Rosélis Ester da Costa
Universidad Federal de Itajubá
Núcleo de Excelencia en Generación Termoeléctrica y Distribuida NEST (IEM/Unifei)
Autor correspondiente:
Tel.: +55 35 3629 1493
Fax: +55 35 3629 1355

Edgar Yánez
Centro de Investigación de Palma de Aceite – Cenipalma/Colombia

Ednildo Andrade Torres
Universidad Federal de Bahía
Ufba
Avenida BPS 1303, CP 50, Itajubá, MG, 37,500-903 CEP
Brasil
roselișcota@yahoo.com.br
electo@unifei.edu.br

Palabras CLAVE

Biodiésel de aceite de palma, balance energético, producción de biodiésel.

Palm oil biodiesel, energy balance, biodiésel production.

Traducido por Fedepalma. Versión original en inglés disponible en el Centro de Documentación de Fedepalma.

The Energy Balance in the Production of Palm Oil Biodiesel

Two Cases of Studies: Brazil and Colombia

Resumen

En la actualidad el uso del biodiésel producido mediante la transesterificación de aceites vegetales con metanol y etanol es visto como una alternativa interesante desde el punto de vista económico y ambiental. La relación salida-entrada de energía en el ciclo de vida de producción del biodiésel puede ser un índice importante en la evaluación de factibilidad técnico-económica y ambiental de la producción de biodiésel a partir de diferentes plantas oleaginosas. Debido a las crecientes preocupaciones ambientales relacionadas con las emisiones de contaminantes atmosféricos derivados de los combustibles, las fuentes alternas de energía están recibiendo mayor atención. Este trabajo pretende realizar un análisis energético de la producción de biodiésel de aceite de palma tomando en cuenta las condiciones de Brasil y Colombia y mostrar las diferencias entre los resultados obtenidos en ambos casos. El propósito de este trabajo también es el de realizar el análisis energético de la producción de biodiésel a partir del aceite de palma, considerando la ruta del metilo, para las condiciones brasileras y colombianas. Este documento presenta los resultados de dicho análisis y comenta las diferencias entre los resultados de los dos estudios de casos. La relación salida/entrada de energía para los estudios de casos evaluados está en el rango de entre 6 y 8.

Summary

The use of the biodiésel produced through the transesterification of vegetable oils with methanol and ethanol is seen as an interesting alternative. The energy output/input relation in biodiésel production life cycle can be an important index for the techno-economical and environmental feasibility evaluation of biodiésel production out of different oleaginous plants. Due to the increasing environmental concerns related to the emissions of fuel derived atmospheric pollutants alternative sources of energy have been receiving greater attention. This work intends to carry out the energy analysis in

the production of the oil palm biodiésel taking the conditions of Brazil and Colombia into account and show the differences between the results attained for both cases. The objective of this work is also to carry out the energy analysis of Palm Oil biodiésel production, considering the methyl route, for Brazilian and Colombian conditions. This paper presents the results of this analysis and discusses the differences between the results of the two case studies. The output/input energy relation for evaluated case studies is in the range 6-8.

Introducción

El creciente interés en inquietudes ambientales relacionadas con la emisión de contaminantes atmosféricos por combustibles fósiles, concentra una mayor atención en las fuentes de energía alternas, principalmente aquellas que contribuyen a mitigar tales emisiones.

El uso de biocombustibles producidos mediante la transesterificación de aceites vegetales con metanol y etanol se considerada en la actualidad como una alternativa viable, ya que presenta ventajas tales como la contribución potencial en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de sulfuro.

Desde el punto de vista económico, el aumento continuado de los precios del petróleo en el mercado y la posibilidad de recibir recursos financieros mediante la comercialización de créditos de carbono según se lo establecido en el Clean Development Mechanism (CDM-Mecanismo de desarrollo limpio), merecen consideración. Más aún, preguntas estratégicas tales como la generación de trabajos e ingresos y la autosuficiencia energética en zonas rurales, refuerzan la necesidad de programas de biocombustibles.

Durante el balance energético del sistema de producción de biocombustible es posible definir la relación entrada/salida como la energía producida (salida/kg biodiésel) y la energía consumida (entrada/kg biodiésel) por cada unidad de producto y éste es un índice importante para la factibilidad económica y ambiental de un proyecto de biocombustible.

En el lado de la entrada se consideran recursos energéticos fósiles/renovables y del lado de salida se trata de recursos biogénicos. La entrada solar se considera de manera indirecta.

La relación entrada/salida de energía en la producción de biodiésel puede usarse como un índice del análisis de factibilidad técnico-económico y ambiental durante la comparación entre las diferentes plantas oleaginosas, como una forma de determinar el mejor tipo de cultivo para la producción de biodiésel en un escenario geográfico y económico determinado.

En Europa se realizaron estudios LCA (evaluación del ciclo de vida) sobre producción de biodiésel (CIT, 200) para las plantas oleaginosas colza y girasol, y en Estados Unidos de América (Sheehan, 1998) para la soya. El consumo de energía por cada kilogramo de biodiésel producido oscila desde 12.17 a 16.7 para Europa y relaciones entrada/salida en rangos de balance energético desde 3.2 a 3.4 para Estados Unidos. En condiciones lituanas (Janulis, 2003) se calcularon las relaciones de la energía en el ciclo de vida metil éster del aceite de colza como una función de la productividad de colza, la extracción de aceite y las tecnologías de transesterificación utilizadas. Los valores promedio para las relaciones entrada/salida en balance energético oscilan entre 2,41 y 5,23 cuando la productividad de colza es de 3 t/ha.

Estudios alemanes considerando la producción de metano a partir de maíz y remolacha (Wörgetter, 1999) obtuvieron una relación entrada/salida que oscilaba entre 1,7 y 3.

En Brasil (Neto, 2004) se realizaron estudios considerando la ruta de etilo y metilo relacionada con el cultivo de castor, obteniendo una relación entrada/salida que oscilaba entre 2 y 2,9. Se tuvo en cuenta una productividad de 1.800 kg/ha.

Este trabajo pretende realizar el análisis de la demanda de energía del ciclo de vida del biodiésel de aceite de palma considerando la ruta del metilo para las condiciones colombianas. Este documento presenta

los resultados de este análisis y discute las diferencias entre los resultados de los estudios en las compañías.

METODOLOGÍA

En este trabajo se estudió la demanda de energía a lo largo del ciclo de vida del biodiésel de aceite de palma considerando la ruta del metilo. En consecuencia, se utilizaron datos de la energía, de la entrada/salida de materiales durante las fases de la producción agrícola y del transporte para el procesamiento (fase agrícola), la fase de extracción y su transporte (fase de extracción del aceite) y de la producción de biodiésel. Los datos utilizados se recogieron en tres plantas de beneficio y áreas de cultivo en tres diferentes regiones de Colombia.

El cálculo del consumo de energía del sistema de producción de biodiésel será la suma de la energía consumida por cada kilogramo de biodiésel producido en las diferentes fases de su cadena de producción. El sistema estudiado comienza en la producción agrícola y prosigue hasta la producción del biodiésel, teniendo en cuenta las fases de transporte de la producción agrícola y la extracción de aceite vegetal. En este estudio no se tuvieron en cuenta las fases de suministro de biodiésel a las distribuidoras, estaciones de servicio y consumidores finales; tampoco se considera el uso alternativo de la tierra con cultivos agrícolas.

Los flujos de energía durante el ciclo de vida del biodiésel se dividen en directos e indirectos. El flujo directo de energía corresponde a la energía consumida en forma de combustible fósil, metano, electricidad y vapor en todas las fases de la producción de biodiésel. En lo que a electricidad y metanol se refiere, éstos se calculan como la principal fuente de energía en su producción. Para diésel y otros combustibles fósiles se utiliza el valor calorífico inferior (LCV, por su sigla en inglés). La energía indirecta es aquella que se consume en forma de insumos agrícolas (tales como fertilizantes y plaguicidas), equipos, maquinaria y transporte, y se calcula mediante el consumo de energía en la producción de cada producto; en cuanto al transporte, se estima con base en la distancia y el consumo específico de combustible.

Los cálculos se realizaron utilizando coeficientes de energía con la cuantificación de los flujos de energía multiplicando las cantidades físicas del producto por el índice de conversión correspondiente. Los resultados se obtuvieron en MJ/kg de biodiésel. Los flujos de energía considerados en este trabajo se presentan en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

En la asignación de los subproductos del proceso no se tuvo en cuenta la fibra en la cuenta de balance, porque toda la energía contenida en este producto fue consumida por el proceso.

Los cuescos se registraron como productos de la la porción excedente, considerando la misma metodología utilizada para la fibra.

Tabla 1. Datos generales de las empresas analizadas en el estudio de casos

Empresa Colombia	Área cultivada (ha)		Procesamiento de RFF (ton RFF/año)	Productividad (ton RFF/ha)	OER
	Vivero	Palmas			
A	1.100	1.200	101.323,77	25	19,8
B	64,1	3.435,9	80.000,00	25	21,08
C	130	4.765	154.352,00	21	20,4

Tabla 2. Coeficientes de energía utilizados para el balance energético en la fase de producción agrícola

Coeficiente energía	Unidad
Fertilizantes [9]	MJ/kg
Nitrógeno (N)	48,9
Fósforo (P_2O_5)	17,43
Potasio (K_2O)	10,38
Calcio (CaO)	2,32
Herbicidas[10]	245,57
Insecticidas [10]	184,71
Fungicidas [10]	MJ/kg
Fungicida	97,13
Tractor [6]	69,83
Camión [6]	62,8
Otros equipos [6]	57,2
Mano de obra [17]	MJ/día
Actividades de cosecha	15

Tabla 3. Valor en porcentaje de nutrientes en EFB, considerando su uso como substitutos de fertilizantes inorgánicos

Elemento activo fertilizante	(%) En peso raquis
N	0,32
P_2O_5	0,09
K_2O	1,16
MgO	0,12

Tabla 4. Coeficientes de energía para el balance enérgico en la fase de extracción de aceite vegetal

Coeficiente energía [11]	Unidad
Construcciones	**MJ/m²**
Edificaciones	7.117,56
Oficinas	18.840,6
Taller, laboratorios	7.117,56
Material	**MJ/kg**
Acero forjado	117,23
Acero estructural	69,50
Turbinas	40,19
Tractores	59,87
Calderas	55,09
Acero inoxidable	79,96

Tabla 5. Coeficientes de energía para la fase de producción de biodiésel

Coeficientes de energía	MJ/kg
Metanol [7]	19,7
Glicerol [7]	18,05
Vapor [1]	**MJ/ton biodiésel**
	1.360

Tabla 6. Valor calorífico de los productos, combustibles y lubricantes utilizados para este estudio

Ítem	MJ/l
Diésel [15]	38,45
Gasolina [12]	42,32
Lubricante [4]	35,94
Ítem	**MJ/kg**
Biodiésel [7]	39,6
Cuesco	18,42
Fibra	11,2
EFB [17]	19,3

En cuanto a los raquis (EFB, por sus siglas en inglés), se cuantificaron como energía nutriente y este valor encontrado se restó del fertilizante consumido.

Datos

Los datos presentados corresponden a las fases que conforman la producción agrícola, la extracción del aceite vegetal y la producción de biodiésel. Los datos relacionados con el área cultivada y la capacidad productiva de cada empresa analizada aparecen en la Tabla 1.

El índice utilizado para electricidad considera como si ésta fuese generada en plantas de energía hidroeléctrica de 3.6 MJ/k Wh (Walnut, 1987).

Las tablas 2, 3, 4, 5 y 6 presentan los coeficientes de energía utilizados durante la elaboración de los datos.

En el presente estudio se consideró para los cultivos una vida útil de 20 años, de 25 para el equipo pesado y de 10 para el equipo liviano. La vida útil de las edificaciones se consideró en 25 años.

En la fase industrial se tuvo en cuenta la particularidad de cada una de las empresas, teniendo en consideración los sistemas de generación de energía, la fracción de utilización de residuos de biomasa industrial en el proceso industrial y en la fase agrícola.

Entonces, para las condiciones colombianas, se tuvieron en cuenta las siguientes particularidades:

- Consumo de electricidad. Las empresas A y C generan 75% de la electricidad requerida y la empresa B no posee un sistema de generación, comprando toda la electricidad que necesita de las empresas de energía.
- Uso de la biomasa residual del proceso. Todas las empresas utilizan 100% de la fibra disponible como combustible para calderas. La empresa A utiliza 63% de la cascarilla disponible y las empresas B y C 75% y 71%, respectivamente. Los FFB se utilizan en 100% como fertilizante en la fase agrícola.

Resultados y discusiones

Consumo total de energía en la fase agrícola

En la Figura 1 se observa que la mayor contribución de energía en la fase agrícola está relacionada con los fertilizantes, seguidos por los combustibles.

En el análisis de energía de la fase agrícola en los casos colombianos, el consumo de combustible y los sistemas de irrigación contribuyen de manera significativa porque, a diferencia de los casos en Brasil, las palmas adultas son irrigadas y la fertilización es

intensiva durante todos los años de vida útil del cultivo.

Consumo total de energía de la fase de extracción

La Figura 2 presenta los consumos de energía comparativos para la fase de extracción de aceite.

En el análisis de la fase industrial, Figura 2, se observa que las mayores contribuciones corresponden al consumo de vapor en el proceso.

En el análisis del balance de energía final se consideró para todos los casos que 100% de la fibra producida en el proceso se utiliza como combustible para calderas en la generación de vapor.

Se observa que el consumo más alto de energía en la producción de biodiésel a partir de aceite de palma, corresponde a la fase industrial (planta de beneficio y biodiésel) a la fase agrícola y a la producción de biodiésel de Colombia.

La Tabla 7 muestra que el resultado del balance energético de todas las empresas fue positivo.

Tabla 7. Resultado del balance energético para la producción de biodiésel para las condiciones colombianas

	Entrada (MJ/kg biodiésel)	Salida (MJ/kg biodiésel)
Empresa – A		
Producción agrícola y transporte	3.166	
Fase industrial y transporte	0.525	
Cuesco		1.565
Torta de semilla de palma		2.947
Aceite de palmiste		4.885
Producción de biodiésel	3.673	
Biodiésel (LVC)		39.600
Producción de glicerol		2.094
Total	**7.364**	**51.091**
E/S	6.938	
Empresa – B		
	Entrada (MJ/kg biodiésel)	Salida (MJ/kg biodiésel)
Producción agrícola y transporte	3.927	
Fase industrial y transporte	0.829	
Cuesco		1.103
Torta de semilla de palma		2.768
Aceite de palmiste		4.613
Producción de biodiésel	3.673	
Biodiésel (LVC)		39.600
Producción de glicerol		2.094
Total	**8.429**	**50.178**
E/S	5.953	
Empresa – C		
	Entrada (MJ/kg biodiésel)	Salida (MJ/kg biodiésel)
Producción agrícola y transporte	2.116	
Fase industrial y transporte	0.576	
Cuesco		1.323
Torta de semilla de palma		
Aceite de palmiste		0.006
Producción de biodiésel	3.673	
Biodiésel (LVC)		39.600
Producción de glicerol		2.094
Total	**6.364**	**43.022**
E/S	6.760	

Conclusiones

El presente trabajo posibilitó la medición de la demanda de energía durante la producción de biodiésel a partir del aceite de palma.

En la fase agrícola en los dos casos estudiados, las mayores contribuciones provinieron de los fertilizantes. En las zonas de cultivo en Colombia se lleva a cabo la fertilización en toda la extensión de las fases de vida de la palma de aceite.

En el mismo análisis realizado en Colombia, los mejores resultados procedieron de la empresa A. Estos resultados son similares a los alcanzados por la empresa C. La empresa B logró resultados menos expresivos debido al hecho que no produce electricidad a partir de los residuos y el consumo de fertilizantes es más alto.

Los valores de entrada/salida obtenidos para balances de energía en el rango 6,0-8,0 son más altos que los obtenidos en los estudios LCA de referencia en Europa y Estados Unidos.

En la comparación entre los valores de demanda de energía para biodiésel de aceite de palma y los valores del metil éster de aceite de colza (RME, por su sigla en inglés) europeo, el metil éster de aceite (SME) de

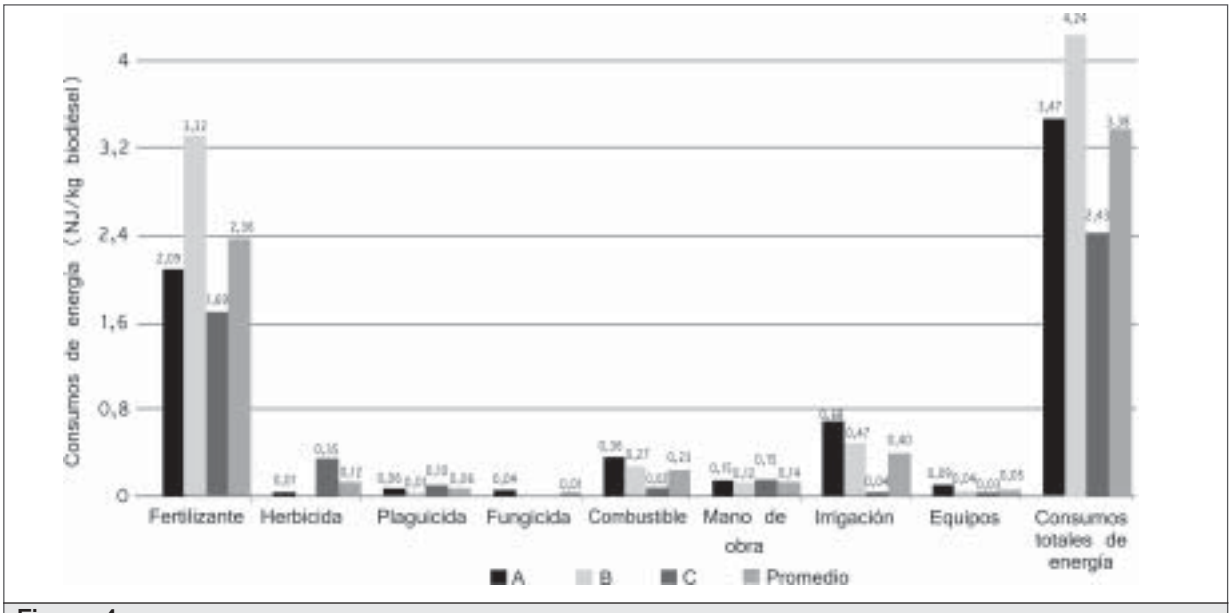

Figura 1. Consumo promedio de energía relacionado con combustibles y agroquímicos para el estudio de casos colombianos durante la fase de producción agrícola.

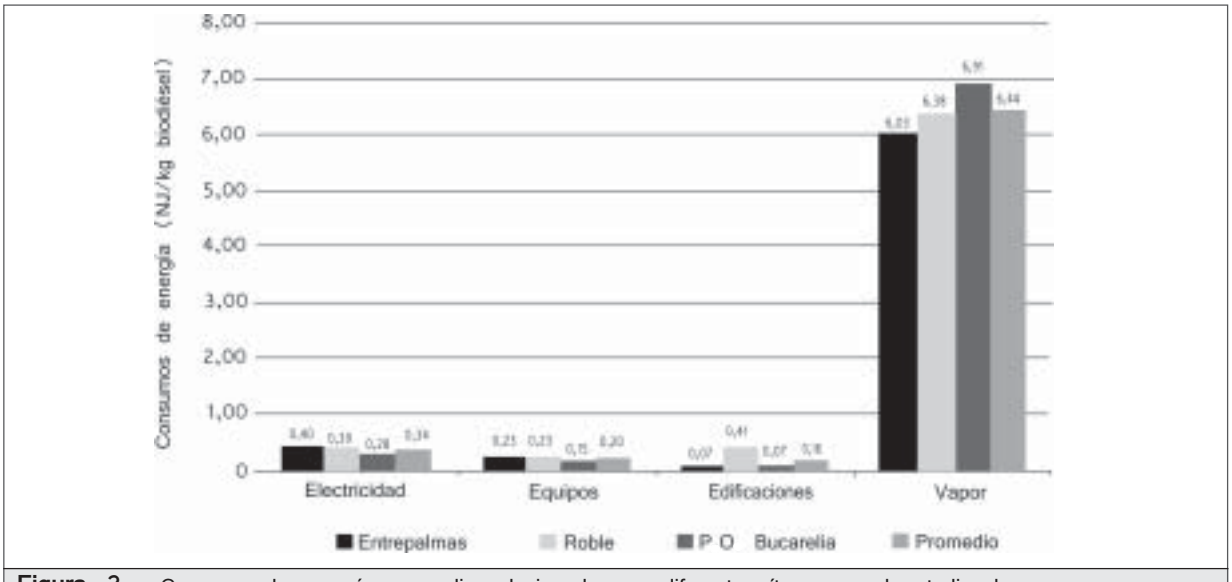

Figura 2. Consumo de energía promedio relacionado con diferentes ítems en el estudio de casos colombianos durante la fase de extracción de aceite.

Estados Unidos y el castor de Brasil, se puede observar que hay una mejor eficiencia en la relación renovable/fósil en el biodiésel de palma. Esto sucede debido a la asignación de los subproductos en la cadena de producción del biodiésel de palma.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Cenipalma, Capes y Famepig por la financiación de este trabajo y al Dr. Guido Reinhardt de Ifeu por sus sugerencias acerca del procesamiento de datos.

Bibliografía

Borken; Patyk; Reinhard, T. 2006. Beginner's all-purpose symbolic instruction code dates will be life cycle assessment. *Vieweg publishers*. (Germany) .

Campos, *et al.* 1998. Economic and energy balance the production of ensilage of maize in intensive system of milk production. *Agricultural engineering.* Piracicaba. 9 (1): 10-20.

CIT. 2000. Production and utilization biofuel's derived of vegetable oils. Document of the Italian Thermo-Technical Committee. Lombardia Region Italian. Disponible en: http://www.cti2000.it/virt/cti2000/headbio.html

Comitre, Economic V. 1993. Energy evaluation and aspects of filière soy in the region of Ribeirão Preto - *SP.* 1993. Thesis (Master) - College of Agricultural Engineering. State University of Campinas. Campinas.

Macedo, I. 1997. Greenhouse gas emissions and bio-ethanol production/utilization in Brazil. Piracicaba: Center of Copersucar Technology. (Internal Report CTC-05/97).

Macedonian, BC; Picchioni, s.a. 1985. Methodology for the calculation of the consumption of fossil energy in the process of farming production. State Secretary of Agriculture. Curitiba.

Neto, JA, *et.al.* 2004. Energy balance of ester methyl and ethyl of castor oil plant oil. I Brazilian Congress of Castor Oil Plant, Campina Grande (Brasil).

NTB. 2000. Liquid biofuels network. Disponible en: http://www.nf-2000.org.html.

Patyk, Reinhardt, GA; Gärtner, SO. 2003. *Environmental Internal update of impacts will be fertilizers.* Heidelberg.

Patyk, Reinhardt, GA. 1997. Düngemittel -Energie- und Stoffstrombilanzen (Fertilizers - Energy and material flow balances). Verlag Vieweg. Braunschweig - Wiesbaden.

Janulis, P. 2003. Reduction of energy consumption in biodiésel fuel life cycle. Laboratory of Agrotechnological Research. Institute of Environment, Lithuanian University of Agriculture. (Lithuania).

Pimentel, D. 1980. Handbook of energy utilization in agriculture. *CRC: Press*. Boca Raton.

Sheehan, *et. al.* 1998. An overview of biodiésel and petroleum diésel life cycles. s.n.t P. 14-24. (Report NREL/TP 580-24772, Golden USA).

Sheehan, J; Camobreco, V; Duffield, J; Graboski, M; Shapouri, H. 1998. Final Report: life cycle inventory of biodiésel and petroleum diésel will be used in an urban bus. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503. The USA.

Ulbanere, RC. 1988. Energy and economic analysis relative to the production and loss of grains of maize in the State of São Paulo. Thesis (Doctorate) - College of Agronomical Sciences. São Paulo State University. Botucatu.

Walnut, LAH. 1987. Analysis of the use of energy in the alcohol production of sugar cane of sugar. Thesis of Doctorate. Campinas.

Wood, BJ; Corley, RHV. 1991. The energy balances of oil palm cultivation. *In:* Porin International Palm Oil Conference. Kuala Lumpur (Malaysia).

Wörgetter, M; Lechner, M; Rathbauer, J. 1999. Ökobilanz Biodiésel. Eine Studie der Bundesanstalt für Landtechnik im Auftrag dês Bundesminsteriums für Land- und Forstwirtschaft.