

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

**Determinación del balance energético en el cultivo y
almacenaje de papa (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) en
la zona sur de Chile.**

Tesis presentada como parte de
los requisitos para optar al grado
de Licenciado en Agronomía.

LUIS HUMBERTO GALLARDO MOLINA
VALDIVIA - CHILE
2008

PROFESOR PATROCINANTE:

ANDRES CONTRERAS M.

Ing. Agr.

PROFESORES INFORMANTES:

ROBERTO DAROCH

Ing. Agr., M.Sc.

VICTOR H. MOREIRA LOPEZ

Ing. Agr., M.Sc., M.S., PH. D.

INSTITUTO DE PRODUCCION Y SANIDAD VEGETAL

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo de todo corazón a mi Papá, a mi Mamá (que aunque no está con nosotros sé que nos ama y nos cuida), a mi hermanita y a la Poly por la permanente preocupación, apoyo y esfuerzo durante todos estos años de estudios y decirles que los quiero mucho y simplemente son fundamentales en mi vida. A su vez quiero agradecer a:

A mi profesor patrocinante: Andrés Contreras, por depositar su confianza en mí y por el constante apoyo durante todo el desarrollo de este trabajo y a los profesores informantes; Roberto Darch y Victor Moreira por su buena disposición ante las dificultades de mi tesis.

A todas las personas que de forma desinteresada colaboraron en el desarrollo de mi tesis; como el Profesor Edmundo Hetz, y todos aquellos agricultores y profesionales los cuales pacientemente respondían a mis dudas.

A mis compañeros y amigos Rodrigo Gonzales, Juan Luis Silva, Samantha Tropa y Héctor Aedo por su simpatía y ayuda en todos los momentos que pasamos juntos. A mis amigos Calbucanos; Koki, Minco, Mary, Lole, Esteban, Carlanga,por ser como son, por traspasarme sus buenos valores y porque han contribuido positivamente en mi formación personal durante parte importante de mi vida. Finalmente quiero agradecer de forma especial a mi Liliun por alegrar mis días con su cariño y amor.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1	Importancia nacional del cultivo de papa.	3
2.2	Principales insumos usados en la producción de papa.	4
2.2.1	Uso de fertilizantes en la producción de papa.	5
2.2.2	Cantidad de tubérculo-semilla usado en el cultivo de papa.	6
2.2.3	Cantidad de pesticidas usados en la producción de papa.	7
2.3	Bodegas de almacenaje de papa.	7
2.3.1	Importancia de la temperatura en el almacenaje.	8
2.3.2	Importancia de la ventilación en el almacenaje.	8
2.4	Antecedentes generales del uso de la energía en la agricultura.	9
2.5	Balance energético.	10
2.6	Importancia de los balances energéticos en la agricultura.	12
2.6.1	Equivalentes energéticos y su evolución.	13
2.7	Balance energético v/s balance económico.	14
2.8	Balances energéticos en sistemas de cultivos tradicionales.	16
2.9	Balance energético en sistemas de cultivo alternativos.	18

2.10	Balances energéticos en las producciones de papa.	20
3	MATERIAL Y METODO	22
3.1	Tipos de análisis energéticos aplicados en agroecosistemas.	22
3.1.1	Análisis termodinámicos	22
3.1.2	El análisis de ecosistemas	22
3.1.3	Análisis de procesos	23
3.2	Ítems a considerar en el análisis energético.	23
3.2.1	Energía ingresada a través de fertilizantes y pesticidas (Ei).	24
3.2.2	Cálculo depreciación energética (Ede).	26
3.2.3	Energía ingresada a través del tubérculo semilla (Ese).	27
3.2.4	Modelo estimativo del consumo de combustible de un tractor.	28
3.2.4.1	Requerimiento de potencia en la barra de tiro	28
3.3.4.2	Resistencia del suelo y cultivo	28
3.3.4.3	Resistencia al rodamiento	29
3.2.4.4	Requerimiento de potencia en el eje toma de fuerza	30
3.2.5	Costo energético del trabajo humano (Ejh).	32
3.2.6	Costo energético de sistema de riego (Eir).	33
3.2.7	Cálculo para el costo energético de la tracción animal (Eta).	33
3.3	Cálculos de energía bruta producida por el cultivo (EBC).	33
3.4	Costo energético del uso de bodegas para almacenaje.	35
3.4.1	Depreciación energética de la bodega (DEB).	36
3.4.2	Gasto eléctrico durante temporada de almacenaje (CE).	37

3.4.3	Consumo energético de las jornadas de trabajo (CET).	37
4	PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
4.1	Insumos y rendimientos en la producción de papa; consumo, semillas y autoconsumo.	40
4.1.1	Fertilizantes usados en la producción de papa.	41
4.1.2	Pesticidas usados en el cultivo de papa.	41
4.1.3	Consumo de combustibles fósiles en la producción de papa.	41
4.1.4	Jornadas hombre y animal usadas en el cultivo de papa	42
4.1.5	Dosis de tubérculos semillas y rendimientos.	42
4.2	Análisis energético en la producción de papa.	42
4.2.1	Energía biológica usada en la producción de papa.	44
4.2.2	Energía fósil usada en la producción de papa.	44
4.2.3	Energía eléctrica usada en la producción de papa	45
4.2.4	Energía industrial usada en la producción de papa.	45
4.3	Consumo energéticos de acuerdo a la operación agrícola.	47
4.4	Balance energético en el cultivo de papa.	48
4.5	Costo energético en bodegas para el almacenaje de papas.	51
4.5.1	Consumo energético en bodegas con ventilación automática.	52
4.5.2	Consumo energético en bodegas con ventilación natural.	53
5	CONCLUSIONES	57
6	RESUMEN	58

6	SUMMARY	59
7	BIBLIOGRAFIA	60
	ANEXOS	68

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Superficie, producción y rendimiento del cultivo de papa en Chile.	4
2	Absorción de nutrientes por tonelada de producción.	5
3	Dosis de tubérculos semillas a distintos espaciamientos.	6
4	Resumen de algunos balances energéticos de cultivos tradicionales.	17
5	Índices energéticos de fertilizantes.	25
6	Equivalentes energéticos de pesticidas.	26
7	Contenido de energía bruta de productos cosechados.	34
8	Área cultivada, rendimientos y principales insumos usados tres tipos de producciones de papa.	40
9	Cuantificación y clasificación energética en tres tipos de producción de papa.	43
10	Consumo energético de las operaciones agrícolas en la producción de papa.	47
11	Balance energético y otros parámetros de evaluación en la producción de papa.	49
12	Capacidad de almacenaje y principales costos en bodegas con ventilación forzada y natural.	51
13	Consumo energético en bodegas con ventilación forzada para almacenaje de papa consumo y semilla.	52

14	Consumo energético en bodegas con ventilación natural para almacenaje de papa semilla y autoconsumo.	53
15	Costos y balance energético en la producción y almacenaje de papas.	55

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Consumo de energía en Estados Unidos desde 1825.	10
2	Consumo de combustible según diferentes niveles de potencia nominal y equivalentes PTO.	31
	FUENTE: GRISSO <i>et al.</i> (2004)	31
3	Composición de la energía ingresada en la producción de papa; consumo, semilla y autoconsumo.	46
4	Flujograma del balance energético en el cultivo y almacenaje de papa.	54

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Promedios de fuerza, potencia y energía requerida por bueyes en diferentes labores agrícolas según SIMS (1987).	69
2	Encuesta análisis energético en cultivo de papa.	70

1 INTRODUCCION

La energía en cualquiera de sus formas es imprescindible para la humanidad y es fundamental en los avances que mejoran la calidad de vida de las personas.

El manejo moderno de cultivos de alto rendimiento se caracteriza por la elevada demanda de energía, tanto en forma de combustibles fósiles, como en forma de fertilizantes y pesticidas. Actualmente el mejoramiento de variedades de papas ha incrementado los rendimientos potenciales de forma notable, sin embargo para alcanzar estas producciones resulta imprescindible aumentar los ingresos de energía principalmente en forma de insumos agrícolas, maquinaria y combustibles fósiles.

La inevitable disminución en la disponibilidad de combustibles fósiles, acompañado del continuo incremento de la demanda de alimentos para suplir las necesidades de la creciente población mundial ha conducido a la necesidad de desarrollar prácticas y técnicas para mejorar la eficiencia en el uso de la energía en la agricultura (MCLAUGHLIN *et al.*, 2000).

Una forma de estudio complementario al análisis económico de un agroecosistema son los análisis energéticos, los cuales son de fundamental importancia para la determinación de la eficiencia en el aprovechamiento de energía en un sistema agrícola. Además es un indicador que muestra la eficiencia entre distintos métodos de producción y permite hacer comparaciones entre estos (HÜLSBERGEN *et al.*, 2001).

El análisis de flujos energéticos que se presentan en los cultivos son de suma importancia a la hora de evaluar la factibilidad de producir biocombustibles dado que el costo energético de producción y elaboración de una unidad de estos debe ser inferior a la carga energética de la misma unidad de producto *per se*.

Ante la diversidad de escenarios en que se desarrollan los sistemas productivos agrícolas y tomando en cuenta la actual relevancia de los estudios energéticos en la producción de cultivos, los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- El objetivo general es desarrollar una metodología para determinar el balance energético en el cultivo y almacenaje de papa, la cual pueda ser extrapolable a otros sistemas de producción vegetal.
- Los objetivos específicos son cuantificar los ingresos de energía necesaria en el cultivo de papa en tres sistemas de producción; papa consumo, papa-semilla y autoconsumo.
- Cuantificar los ingresos de energía requeridos en bodegas de almacenaje de papa con ventilación natural y ventilación forzada.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Importancia nacional del cultivo de papa.

Actualmente el cultivo de papa se distribuye a lo largo de todo Chile sin embargo existen condiciones ambientales que indiscutiblemente favorecen a determinados objetivos productivos. Los principales objetivos productivos de cultivo de papa son; papa consumo, papa-semillas y papa para procesos industriales.

En Chile, este cultivo se destaca por su importancia económica y social. Aunque ocupa el cuarto lugar entre los cultivos anuales en cuanto a superficie, en la pequeña agricultura ocupa el primer lugar en el valor total de las jornadas/hombre requeridas en su cultivo (SANTOS *et al.*, 2001).

El sur de Chile comprendido desde los 39°30` hasta los 44° L.S posee excelentes condiciones edafoclimaticas para la producción de este cultivo, alcanzando los mayores rendimientos y producción a nivel nacional (cuadro 1). Esta zona se ha convertido en la principal fuente de abastecimiento de tubérculo-semilla de buena calidad y es la única que está legalmente autorizada para producir semillas de categoría certificada (LOPEZ, 1994).

Según antecedentes de CENSO AGROPECUARIO y FORESTAL (2007) el cultivo de papa ocupa el cuarto lugar a nivel nacional en importancia de superficie cultivada. Durante la temporada agrícola 2006/2007 tuvo una producción total de 831.053,9 ton siendo el promedio nacional de 15,5 ton/ha.

CUADRO 1 Superficie, producción y rendimiento del cultivo de papa en Chile.

Región	Superficie	Producción total	Rendimiento medio	
	ha	ton	%	ton/ha
I	94	138	0,02	1,5
II	5	22	0,00	4,8
III	263	3.610	0,43	13,7
IV	3.237	56.406	6,79	17,4
V	2.186	20.406	2,46	9,3
VI	1.689	22.339	2,69	13,2
VII	3.342	44.797	5,39	13,4
VIII	8.293	96.740	11,64	11,7
IX	14.029	212.351	25,55	15,1
X	11.154	213.268	25,66	19,1
XI	185	1.925	0,23	10,4
XII	133	829	0,10	6,2
XIV	3.957	72.178	8,69	18,2
XV	24	95	0,01	4,0
Metropolitana	5.189	85.952	10,34	16,6
Total	53.780	831.054	100,00	15,5

FUENTE: CHILE, VII CENSO NACIONAL AGROPECUARIO y FORESTAL (2008).

La superficie total cultivada fue de 53.779,5 hectáreas y las regiones novena, décima y decimocuarta produjeron cerca del 60% de la producción total. El rendimiento varia dependiendo de la región, presentándose el mayor rendimiento en la décima y el menor en primera región.

2.2 Principales insumos usados en la producción de papa.

Este cultivo es uno de los más exigentes en cuanto a la demanda de insumos, siendo los principales la cantidad de tubérculos semillas, los fertilizantes y pesticidas.

2.2.1 Uso de fertilizantes en la producción de papa. La fertilización del cultivo de la papa es una práctica que permite incrementar notablemente el rendimiento y la calidad de los tubérculos cosechados. Según CONTRERAS (2003) los elementos nutritivos más importantes para el cultivo de papa son el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), donde el nitrógeno constituye el elemento más importante en la generación de tallos y hojas. El fósforo participa activamente en la formación de hidratos de carbono y en la formación de clorofila para el proceso fotosintético, además de favorecer el desarrollo del sistema radical. El potasio reviste un importante papel en la formación de azúcares y almidón, siendo este el motivo por el cual este elemento en el cultivo de papa es tan alta. El calcio participa en numerosos procesos metabólicos en la planta siendo requerido en la división celular y en la formación de tejido de sostén.

CUADRO 2 Absorción de nutrientes por tonelada de producción.

Elementos nutritivos	Extracción en kg por tonelada de tubérculos.	Extracción en kg por tonelada de producción (follaje + tubérculos)
N	3,2	4,5-5,9
P ₂ O ₅	1,6	1,5-2,0
K ₂ O	6,0	8,3-10
CaO	0,2	2,7-4,7

FUENTE: CONTRERAS (2007)

En el cuadro 2 se indica la absorción de nutrientes por tonelada producida de follaje de tubérculo, donde se aprecia que el elemento nutritivo mayormente de absorbido es el potasio, seguido por el nitrógeno. FAIGUENBAUM (1988) indica que la cantidad y época de aplicación de los fertilizantes dependen del objetivo productivo, ya sea producción de tubérculos semillas, papa para guarda o primor, el largo del periodo vegetativo y los rendimientos que se desean obtener. La producción de papa semilla y papa primor requieren una fertilización menor.

2.2.2 Cantidad de tubérculo-semilla usado en el cultivo de papa. La cantidad de tubérculos semillas (kg/ha) está relacionada con la densidad de plantación que es dependiente de la variedad de papa, las condiciones de crecimiento y del objetivo productivo. La cantidad de tubérculo-semilla por hectárea corresponde al peso promedio de los tubérculos por el número de plantas que se desea establecer. Para la producción de tubérculo-semilla se recomienda una mayor densidad de plantación, o bien mayor número de tallos principales por planta, que para la producción de papa consumo, y esto se debe a la mayor competencia por luz, agua y nutrientes (CONTRERAS, 2007).

CUADRO 3 Dosis de tubérculos semillas a distintos espaciamientos.

Distancia sobre hilera (cm)	Distancia entre hilera (cm)					
	65	70	75	80	90	100
18	85.470	85.470	74.074	69.444	61.728	55.556
20	76.923	76.923	66.667	62.500	55.556	50.000
25	61.538	61.538	53.333	50.000	44.444	40.000
30	51.282	51.282	44.444	41.667	37.037	33.333
35	43.956	43.956	38.095	35.714	31.746	28.571
40	38.462	38.462	33.333	31.250	27.778	25.000

FUENTE: CONTRERAS (2003).

Las distancias entre hileras usadas en el cultivo de papa fluctúan entre 65 y 100 cm. dependiendo si el sistema de plantación es manual o mecanizado. Las plantaciones manuales de pequeños productores utilizan poblaciones entre 20.000 y 25.000 plantas por hectárea, plantaciones mecanizadas utilizan poblaciones entre 35 y 50 mil plantas por hectárea según el propósito productivo. CONTRERAS (2003) indica que en las plantaciones mecanizadas la distancia entre hilera esta determinada por la reja de la cosechadora. La distancia sobre hilera tiene mayor opción de regulación dependiendo del objetivo productivo que tenga la producción. Poblaciones bajas (27 a 40 mil

plantas por hectárea) producen un cierre mas tardío de la canopia, una menor eficiencia fotosintética y un menor rendimiento.

2.2.3 Cantidad de pesticidas usados en la producción de papa. El uso de pesticidas en la producción de papa constituye una parte esencial en la actual tecnología de producción, sobre todo en grandes productores comerciales. Las heladas y las sequías constituyen riesgos climáticos de difícil control, no así las malezas, plagas y enfermedades las que si pueden ser controladas. Los principales pesticidas usados son los herbicidas, insecticidas y funguicidas siendo estos actores clave en el manejo del cultivo. CONTRERAS (2006) indica que los pesticidas usados en la producción de papa son variables dependiendo de la casa comercial y año, situación que es cambiante pero necesaria de acuerdo a la problemática.

2.3 Bodegas de almacenaje de papa.

Para conservar en buena forma, con el mínimo de pérdidas y por largo tiempo grandes volúmenes de papa, es necesario contar con una infraestructura que permita mantener los tubérculos bajo condiciones ambientales apropiadas durante el período de almacenaje. Por esta razón las bodegas de almacenaje son construídas con diseños que favorecen la circulación de flujos de aire para proveer un ambiente adecuado para el mantenimiento de los tubérculos.

Existen diferentes tipos de bodegas que van desde construcciones rústicas con ventilación natural que aprovechan las condiciones favorables de una zona, hasta construcciones sofisticadas, bien aisladas, con equipos de ventilación automática que control las condiciones ambientales.

Las bodegas de almacenaje utilizadas por pequeños productores de papa son estructuras rústicas multipropósito en donde estos tubérculos solo ocupan una fracción de la bodega, el volumen restante se ocupa para el almacenaje de granos, almacenamiento de fardos, herramientas y otros utensilios utilizados en labores agrícolas y ganaderas. Este tipo de bodegas aprovechan las condiciones naturales presentes en la zona para conservar pequeños a medianos volumen de tubérculos. Al almacenar volúmenes mayores se hace imprescindible utilizar bodegas con tecnologías para proveer de condiciones ambientales al interior de la bodega y de las trojas.

2.3.1 Importancia de la temperatura en el almacenaje. El tubérculo es un órgano en estado latente que mantiene en niveles reducidos su actividad vital durante el almacenaje, sin embargo la intensidad de su actividad depende en gran medida de la temperatura, junto con elevarse la temperatura se intensifica la respiración y se activa la formación de brotes, aumentando con ello las pérdidas de peso por deshidratación. Temperaturas demasiado bajas pueden causar daños por heladas, junto con ello aumentan el porcentaje de azúcares reductores lo cual es perjudicial para papas utilizadas en procesos industriales, es por esto que diversos estudios han demostrado que las menores pérdidas se producen a los 7,2 °C (BANSE, 1980). Al respecto SMALL y PAHL (2003) señalan que las temperaturas de almacenaje dependen de la variedad y del objetivo productivo; 2-4 °C , 3-5 °C y 7-9 °C para papa-semillas, consumo, e industrial (fritas, hojuelas y puré) respectivamente.

2.3.2 Importancia de la ventilación en el almacenaje. SMALL y PAHL (2003) indican que la ventilación es el factor más importante para el correcto funcionamiento de la temperatura, humedad relativa y calidad del aire en el almacenaje. Es también esencial para manejar los potenciales problemas de almacenaje causados por enfermedades o heladas. Este autor recomienda

dos tasas de ventilación dependiendo del objetivo de la producción; en almacenaje de papas semillas recomienda entre 7,5 a 10 L/s/ton (litros/segundos por tonelada de papas) y entre 12,5 y 15 L/s/ton en papas consumo destinadas al procesamiento industrial.

2.4 Antecedentes generales del uso de la energía en la agricultura.

Desde los inicios de la domesticación de los cultivos ha existido la utilización de herramientas para facilitar el trabajo agrícola, en esta etapa el hombre sólo disponía de instrumentos manuales o usaba su propio cuerpo para realizar estas labores. Con el advenimiento de nuevas herramientas fue aumentando la dependencia hacia otras tecnología para asegurar la supervivencias humana, lo que según Georgescu-roegen (1975) citado por ROMANELLI (2002) trajo consigo que se generaran problemas de diferente naturaleza siendo denominados problemas bioeconómicos.

Los mayores avance de la agricultura trascurren a lo largo del siglo XX. Todos los avances tecnológicos que impulsaron la agricultura tuvieron como base un aumento en la demanda energética del sector, principalmente fuentes de energía de baja entropía, tomando como principal ejemplo el uso de los combustibles fósiles (ROMANELLI, 2002).

La dependencia hacia los combustibles fósiles en la humanidad y en producción de alimentos tanto en forma directa como en forma de insumo agrícola es reciente en la historia como se observa en la ver Figura 1.

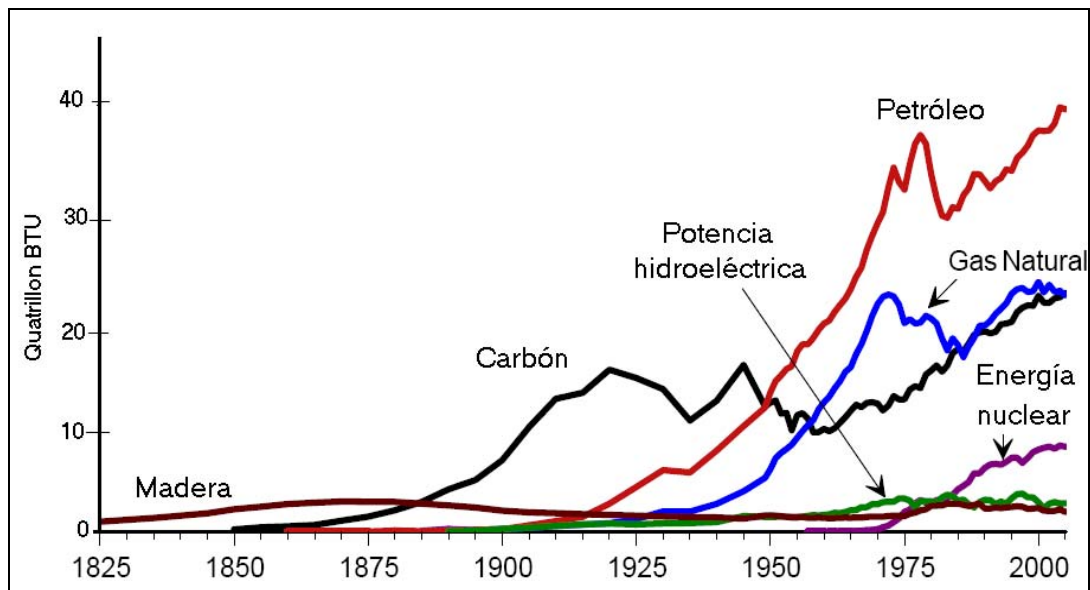


FIGURA 1 Consumo de energía en Estados Unidos desde 1825.

FUENTE: Extraído de AER (2006).

Esta dependencia es fundamental para elevar la productividad dado que la “Revolución Verde” que proporcionó un aumento considerable en los rendimientos agrícolas es inherente a una elevada demanda de insumos. Esto se observó de forma más acentuada en los países mas desarrollados (KOZIOSKI y CIOCCA 2000). La energía consumida en la producción agrícola actualmente se clasifica como energía directa y energía indirecta. La energía directa es el consumo de combustibles fósiles usada para diversas operaciones agrícolas; como funcionamientos de tractores o funcionamiento de otros motores. La energía indirecta usada involucra la conversión de combustibles fósiles a otros productos: como fertilizantes o pesticidas. (MCLAUGHLIN *et al.* 2000).

2.5 Balance energético.

Se entiende por balance energético a la relación entre el gasto de energía para producir una determinada cantidad de un producto y la energía

que el producto puede generar. Cuando el balance es positivo (la energía que genera el producto es superior a la energía que se necesita para producirlo) hay una ganancia neta de energía. Frecuentemente la ganancia neta de energía se expresa como un porcentaje de la entrada de energía en el sistema o como una relación entre la energía de entrada y salida. (ACEVEDO, 2006; CAVIARES, 2006)

Bueno *et al.* (2000) citado por CAMPOS y CAMPOS (2004) define los balances de energía como una actividad o instrumento destinado a contabilizar las energías consumidas y las energías producidas en determinados sistemas de producción, teniendo como principal objetivo traducir en unidades o equivalentes energéticos los factores de producción y los consumos intermedios, posibilitando la construcción de indicadores comparativos entre sí, que permitan una intervención en los sistemas productivos buscando mejorar su eficiencia.

El balance energético es una importante herramienta que se usa para determinar la eficiencia de los sistemas agrícolas, por medio de cuantificación de la circulación de energía a través del sistema (HETZ, 1992). Además de ser un importante indicador de eficiencia, también se utiliza para comparar diferentes métodos de producción (HACISEFEROGULLARI *et al.*, 2003).

Varios métodos de análisis energéticos han sido reportados en la literatura e incluyen análisis estadísticos y análisis de entradas y salidas de energía, para lo cual todos los procesos usados en la producción de un determinado cultivo son identificados y analizados cuantificando sus respectivas entradas de energía Fluck y Baird (1980) citado por MCLAUGHLIN *et al.* (2000). De esta forma los resultados pueden ser expresados a través de la productividad energética en términos de joule de

energía requerida por kilogramo de cultivo cosechado (YILMAZ *et al.*, 2005).

2.6 Importancia de los balances energéticos en la agricultura.

La producción y utilización de alimentos de buena calidad se ha constituido en uno de los principales problemas para la humanidad. Según Campos *et al.* (1998) citado por ROMANELLI (2002) a medida que el hombre va desarrollando formas para aumentar los rendimientos agrícolas, innumerables factores incurren para dificultar la obtención de ese objetivo, pudiéndose por ejemplo destacar la influencia de los combustibles fósiles en la formación de costos económicos y energéticos. Tal influencia fue evidenciada por primera vez cuando hubo una alerta general sobre la eventual falta de combustibles fósiles transmitidos por los países árabes en 1973, durante la primera crisis del petróleo (Rodríguez, 1975 citado por ROMANELLI, 2002).

Stanhill (1984) citado por ROMANELLI (2002) señala que a partir de la segunda mitad del siglo XX la agricultura se ha transformando en un sistema dependiente, donde los insumos con bajo valor energético utilizados en la agricultura sólo satisfacen a la producción local, no así en sistemas intensivos y extensos donde la demanda de alta cantidad de insumos con altos valores energéticos *per se* o en sus procesos industriales es fundamental, a su vez este autor señala que los incrementos en la producción se deben principalmente al aumento de energía consumida por los sistemas.

La industrialización de la agricultura es un modelo destinado al desenvolvimiento, permitiendo el aumento de los rendimientos y eficiencia por unidad de superficie, como también en lugares con limitaciones por falta

de recursos de producción. Sin embargo a partir de la primera crisis del petróleo se fue observando que en muchos casos para producir una unidad de energía metabólica para la agricultura extensiva había necesidad de más de una unidad de energía proveniente del petróleo, esto era económicamente viable en aquella época por el bajo precio de este insumo. Desde entonces se ha observado que cada vez que nuevos factores de producción son propuestos para modernizar la agricultura, se intensifica el uso de energía, que a su vez influyen nuevos flujos de retorno de capital invertido (Stanhill, 1984 citado por ROMANELLI, 2002).

HETZ (1994) señala que los estudios de eficiencia energética y balance energético son importantes herramientas de monitoreo de la agricultura ante el uso de recursos energéticos no renovables.

Giampietro *et al.* (1992) citado por CAMPOS y CAMPOS (2004) considera que los análisis energéticos e indicadores relacionadores de energía son importantes métodos promisorios para investigar los problemas relacionados la sustentabilidad y eficiencia de los sistemas agrícolas. De forma similar ZAK *et al.* (2006) indican que los balances de energía son importantes herramientas para la evaluación de prácticas de cultivos ambientalmente sustentables.

2.6.1 Equivalentes energéticos y su evolución. Los equivalentes energéticos son expresiones usadas para cuantificar las entradas de energía asociada a la manufactura de insumos de producción en términos de energía. HÜLSBERGEN *et al.* (2001) señala que existe una amplia variación de equivalentes energéticos repartidos en la literatura, esto es el resultado de diferentes métodos de cálculos, además los equivalentes energéticos no son valores fijos, estos deben ser adaptados a las condiciones locales y a los cambios en los medios de producción. Los equivalentes energéticos cambian

a través del tiempo principalmente por mejoras tecnológicas. Greef *et al.* (1993) citado por HÜLSBERGEN *et al.* (2001) indican que las variaciones en los equivalentes energéticos de fertilizantes aplicados en los agroecosistemas tienen un fuerte efecto sobre la cuantificación de energía, y a pesar que la información acerca de los cambios de los equivalentes energéticos a través del tiempo ha sido contradictoria PIMENTEL (1992) y UHLIN (1999) aceptan que la energía necesaria para producir fertilizantes minerales ha disminuido en el tiempo. Según Appl (1976) citado por HÜLSBERGEN *et al.* (2001) indican que se requerían entre 190 a 574 MJ para producir un kg de amonio a comienzos del siglo XX. Van Dasselar y Pothoven (1994), citado por HÜLSBERGEN *et al.* (2001) indican que el equivalente energético del nitrógeno mineral disminuyó a entre 60 y 38,3 MJ/kg en la última década. Según UHLIN (1999) la energía necesaria para producir 1 kg. de nitrógeno fue mayor a 151,9 MJ/kg en 1956, de 83,5 MJ/kg en 1972, y actualmente es menor 39,6 MJ/kg. Sin embargo otras investigaciones reportaron mayores costos energéticos para la producción de un kilogramo de nitrógeno; 55,5 MJ Haas *et al.* (1995) citado por HÜLSBERGEN *et al.* (2001) y 87,9 MJ PIMENTEL (1992).

2.7 Balance energético v/s balance económico.

Los balances energéticos cuantifican los ingresos de energía y lo relacionan con los rendimientos. Los análisis de costos económicos de producción si bien siguen una forma de estudio similar escasamente se relacionan entre si con los análisis energéticos, pero se complementan de buena forma, a continuación se dan dos ejemplos:

PIMENTEL (2003) estudió el flujo energético y económico que circula a través del cultivo y proceso de maíz destinado a la producción de bioetanol

en Estados Unidos, país en el que se subsidia la producción de bioetanol. Este estudio demostró que una hectárea de maíz produciendo 8,5 toneladas de maíz es capaz de producir 3.160 litros de bioetanol al 95% de pureza, siendo necesario utilizar 28,6 MJ para producir un litro de bioetanol, el cual contiene solo 23,4 MJ, ósea existe un balance energético negativo, con una pérdida de un 22,2% de energía. Si bien este análisis energético resulta negativo no pasa lo mismo con el análisis económico dado el precio que posee el bioetanol sumado al subsidio que otorga el estado les resulta conveniente a productores de biocombustibles.

YILMAZ *et al.* (2005) compararon los costos económicos y energéticos en la producción de algodón en pequeños y grandes productores de Turquía. Los resultados revelaron que la producción de algodón consumió para pequeños productores 49,7 GJ/ha de los cuales el mayor costo fue el diesel (31%) seguidos por la fertilización y maquinaria. La relación de balance energético y productividad energética fue de 0,74 y 0,06 kg de algodón por GJ ingresado respectivamente. El análisis de costos económicos en pequeños productores mostró que el retorno neto por kilogramo de semilla fue insuficiente para cubrir los costos de producción en el área investigada. No así, los grandes productores mostraron ser más eficientes en el balance y productividad energética, como también en términos de rentabilidad económica, concluyendo que el manejo energético a nivel de granjas puede ser mejorado dando más eficiencia y uso económico de la energía.

Carmo y Comitre (1991) citado por FABRI y SIMÕES DO CARMO (2004) calcularon el balance energético de maíz y soya en el año 1965 y 1990 en el estado de Sao Pablo, concluyendo que la energía fósil reemplazó a la energía biológica, y los combustibles fueron los componentes mas consumidos seguidos de los fertilizantes. Además, el uso de la energía proveniente combustibles y utilización de agroquímicos trajo consigo impactos medioambientales y sociales de consideración. Este estudio

también confirmó que los análisis energéticos complementan el análisis económico, contribuyendo en la conservación de fuentes naturales y en la mantención de los agroecosistemas en el largo plazo.

2.8 Balances energéticos en sistemas de cultivos tradicionales.

Según Epstein (1962) citado por HOHNHOLZ *et al.* (1991), en la zona sur de India en 1955 los rendimientos promedios de cultivos de arroz fueron de 2.348 kg/ha y Revello *et al.* (1976) citado por HOHNHOLZ *et al.* (1991) indicó que en 1975 los rendimientos de la misma zona bajo la tecnología de la “Revolución verde” fueron de 6.080 kg/ha de arroz. Las labores humanas, la cantidad de semilla y herramientas fueron las mismas, dado que en 1975 no se usaba maquinaria en la zona, los incrementos de rendimiento se atribuyen al empleo de riego artificial, pesticidas y fertilizantes. En términos de balance energético se usó 3 veces más energía en 1975 que en 1955 y la relación ingreso-salida de energía fue de 1:5,5 y 1:4,8 para el año 1955 y 1975 respectivamente.

Según BAALI y OUWERKERK (2005), al determinar el balance energético en trigo de invierno obtuvieron que el balance energético fue de 2,6 para granos y de 4,9 para granos más paja, indicando que el mayor consumidor de energía fue la fertilización, contribuyendo a más del 50% de la energía usada, dentro de la cual la fertilización nitrogenada ingresada al sistema usa alrededor del 80% de la energía entregada al sistema en fertilizantes. En este estudio la energía directa en la forma de combustibles y lubricantes contribuye en menos del 25% del total de energía necesaria para la producción de este trigo invernal.

HETZ (1992), determinó un rango de balances energéticos en maíz,

considerando todos los “input” aplicados al sistema de producción; labor humana, maquinaria, semillas, fertilizantes, pesticidas entre otros, concluyendo que los grandes productores de maíz (mas de 10 ha), tienden a usar mas energía en combustibles, fertilizantes nitrogenados y fosforados y estos son responsables de demandar cerca del 80% del total de energía.

ERDAL *et al.* (2007) determinaron el consumo de energía usado en la producción de remolacha en Turquía. Los resultados revelaron que el total de energía consumida fue de 39,7 GJ/ha, de los cuales el 49,3% corresponde a fertilizantes y el 24,1% son los combustibles. Este estudio determinó un balance energético de 25,8 y la productividad energética fue de 1,5 kg. por MJ ingresado al cultivo. Los resultados mostraron que el 82,4% de energía ingresada corresponde a energía no renovable y el 12,8% fue desde fuentes rentable.

CUADRO 4 Resumen de algunos balances energéticos de cultivos tradicionales.

Cultivo	BE	País	Autor
Papa	2,9	Chile	ALVAREZ (1982)
Raps	4,5	Chile	HETZ (1994)
Trigo	4,9	Marruecos	BAALI y OUWERKERK (2005)
Arroz	8,8	Malasia	BOCKARI-GEVAO <i>et al.</i> (2005)
Maíz	4,1	Brasil	DE FREITAS <i>et al.</i> (2006)
Remolacha	19,5	Turquía	HACISEFEROGULLARI <i>et al.</i> (2003)
Caña de azúcar	15,9	Brasil	SARTORI y FLORENTINO (2007)

HACISEFEROGULLARI (2003) al analizar energéticamente el cultivo de remolacha en Turquía obtuvo que: el total de energía ingresada, el rendimiento total transformado a GJ/ha, y la relación salida/entrada fueron de

19,76 GJ/ha, 378,5 GJ/ha y 19,15 respectivamente.

2.9 Balance energético en sistemas de cultivo alternativos.

La inevitable disminución de disponibilidad de combustibles fósiles ha conducido a desarrollar prácticas agrícolas más sustentables y eficientes desde el punto de vista de utilización de recursos energéticos no renovables, a continuación se citan ejemplos de investigaciones realizadas con este objetivo:

PIMENTEL *et al.* (1983) al realizar una valoración de la eficiencia energética, el rendimiento y requerimientos de labor para la producción de maíz, trigo, papas y manzanas usando un sistema de producción orgánico (sin usar fertilizantes y pesticidas sintéticos) y un sistema de tecnologías convencionales, observaron que bajo el sistema orgánico la producción de trigo y maíz fue entre 29 y 70% energéticamente más eficiente que bajo el sistema convencional, sin embargo el manejo del cultivo de papa y manzana por medio de insumos convencionales fue entre 7 y 93% más eficiente energéticamente que bajo un sistema de cultivo orgánico. Además para todos los cultivos el ingreso de energía al sistema a través de las labores humanas fue más alto en sistemas de cultivos orgánicos que en convencionales. De forma similar MCLAUGHLIN *et al.* (2000) al comparar los ingresos de energía en la producción de maíz de grano utilizando fertilización inorgánica y estiércol de cerdos como fuentes de nutrición del cultivo, sus resultados mostraron que la fertilización convencional inorgánica de maíz de grano puede ser sustituida por estiércol de cerdo sin disminuir los rendimientos y reduciendo los ingresos de energía al sistema, ya que los fertilizantes inorgánicos utilizan entre 40 a 50% del total de energía ingresada al sistema. Este trabajo asume disponibilidad y proximidad de fuentes del estiércol usado.

Según PIMENTEL (1993) el uso de tecnología orgánica en la agricultura tiene ciertas ventajas en algunas situaciones y sobre algunos cultivos como maíz; sin embargo, en otros cultivos vegetales o frutales, los rendimientos bajo sistemas de producción orgánica pueden ser sustancialmente reducidos comparados con producciones convencionales. Las mayores ventajas de la producción orgánica son la conservación de suelo y fuentes de agua, además del efectivo reciclaje de estiércol cuando están disponibles.

Un trabajo realizado por FABBRI y DO CARMO (2004) en batata dulce (*Ipomoea batatas*), la cual es una hortaliza que se caracteriza por su elevada rusticidad y además por tener alto valor energético (15,5 MJ/kg) evaluando la eficiencia energética en tres sistemas de producción: producción convencional, orgánica y biodinámica, indican que el sistema de manejo de camote orgánico y biodinámica tienen mejor eficiencia energética y con un elevado balance energético (58,2 y 70,6 respectivamente) por área en relación al sistema de cultivo convencional (17,4).

RŽONCA y POSPIŠIL (2004), al evaluar el balance energético de cebada de primavera y trigo de invierno bajo diferentes técnicas de labranza (labranza tradicional, labranza reducida y cero labranza) obtuvieron que las entradas más bajas de energía se observaron en sistemas de cero labranzas, y las mayores demandas de "input" fueron bajo labranza tradicional. Los rendimientos promedios de trigo de invierno transformados a GJ/ha bajo sistemas de labranza tradicional, reducida y cero labranza fueron de 86 GJ/ha, 91 GJ/ha y 90 GJ/ha, y para cebada los rendimientos en términos energéticos fueron de 56 GJ/ha, 53 GJ/ha y 68 GJ/ha respectivamente. Concluyéndose en este trabajo que las formas de labranza reducida hacen posible ahorrar el consumo de energía fósil.

2.10 Balances energéticos en las producciones de papa.

Un estudio realizado por ZAK *et al.* (2006) en Eslovaquia comparó energéticamente tres sistemas de producción de papa; un sistema ecológico, un sistema bajo en “inputs” y un sistema de manejo tradicional, los promedios de energía ingresada por hectárea fueron de 34,4 GJ, 38,6 GJ y 41,1 GJ, los tres sistemas obtuvieron rendimientos promedio aceptable para zona de con valorización energética de 89,6 GJ/ha, 101,2 GJ/ha y 106,7 GJ/ha y equivalente a 23,6 ton/ha, 25,5 ton/ha y 26,5 ton/ha respectivamente. En este estudio el sistema de producción orgánico resultó tener un rendimiento un 16% menor que el sistema manejado convencionalmente, sin embargo trabajos realizados por Rist, 1992 citado por ZAK *et al.* (2006), obtuvieron rendimientos 35% mas bajos en sistemas ecológicos que en sistemas de producción convencionales con altos “inputs”.

ALVAREZ (1982) determinó el balance energético en ecosistemas de papa consumo, semilla y autoconsumo en la décima región de Chile, obteniendo valores de 2,41, 3,13 y 2,29 respectivamente, también observó que los mayores costos energéticos del cultivo de la papa son en orden decreciente: petróleo, fertilizantes nitrogenados y semillas, señalando además que en relación al año 1964, existe un aumento en la tendencia de al empleo de maquinaria y pesticidas, y una disminución en el empleo de animales y mano de obra.

SCHNEIDER y NAFUS (1980) analizaron los ingresos y salidas de energía por hectárea del cultivo de papa en distintas zonas productoras de USA, las regiones estudiadas fueron California, Maine, Idaho y New York, las cuales mostraron rendimientos promedio de 36,7 ton/ha, 23,6 ton/ha, 26,7 y 34,5 ton/ha y la relación “output/input” fue de 1,64, 1,44, 0,83 y 1,37 respectivamente. Las variaciones en las cantidades de energía utilizada en

las distintas regiones se atribuyen a las diferencias climáticas y de suelos que influyen directamente en la utilización de maquinaria y aplicaciones de pesticidas.

3 MATERIAL Y METODO

En este estudio se analizó el flujo energético en los cultivos comerciales de papa consumo y semilla en la comuna de Llanquihue en superficies de producción de aproximadamente 200 ha, y la producción de autoabastecimiento en la provincia de Chiloé en una superficie de producción 0,25 ha. También se estudió el consumo energético en bodegas de almacenaje de papa con ventilación natural y forzada. Los cálculos se basaron en coeficientes energéticos obtenidos de la literatura y las correspondientes tasas de aplicación de dosis de semillas, fertilizantes, pesticidas, combustibles y depreciaciones, los cuales fueron obtenidos a través de encuestas con los agricultores seleccionados.

3.1 Tipos de análisis energéticos aplicados en agroecosistemas.

Dependiendo de la limitación del sistema a medir, hay diferentes maneras de estudiar los flujos de energía que circulan en los agroecosistemas Jones, (1989) citado por HÜLSBERGEN *et al.* (2001) presentó una jerarquía de métodos los cuales pueden ser aplicados para analizar aspectos energéticos de un sistema de cultivo:

3.1.1 Análisis termodinámicos: Estos estudios representan el más alto nivel de análisis e incluyen todas las circulaciones de energía como también mantienen la entropía y orden los sistemas.

3.1.2 El análisis de ecosistemas: Este análisis incluye la energía solar. La inclusión de la energía solar trae consigo un problema de escala, dado que

los ingresos de energía usados por los sistemas agrícolas se muestran como componentes insignificantes del total de circulación de energía, mientras que estos son generalmente los componentes de mayor interés en los análisis energéticos.

3.1.3 Análisis de procesos: Es un mecanismo de análisis más técnico, limitándose a trazar todos los ingresos de energía dentro del sistema agrícola, basándose en materiales físicos de circulación. El método de análisis que se usó en este estudio corresponde a un análisis de procesos.

3.2 Ítems a considerar en el análisis energético.

El flujo de energía en el cultivo se estimó por medio de la cuantificación energética en MJ/ha de diferentes ítems, los cuales se señalan a continuación:

- 1) Energía ingresada al sistema a través de insumos agrícolas dentro de los cuales se incluyen fertilizantes y pesticidas (E_i).
- 2) Energía gastada en la manufactura de maquinaria y la depreciación sobre su vida útil (E_{de}).
- 3) Energía involucrada en el consumo de combustible por las máquinas motorizadas (E_{co}).
- 4) Energía consumida por personas en las jornadas de trabajo agrícolas (E_{jh}).
- 5) Energía consumida por animales en las jornadas de trabajo agrícolas (E_{ta}).
- 6) Ingreso de energía al agroecosistema por el uso de sistemas de riego (E_{ir}).

7) Ingreso de energía al sistema en los tubérculo semilla (Ese).

De esta forma el cálculo de energía ingresada por hectárea al agroecosistema se determinó mediante la sumatoria de ítems anteriormente descritos:

$$\text{Energía total ingresada} = E_i + E_{de} + E_{co} + E_{jh} + E_{ta} + E_{ir} + E_{se} \quad (3.1)$$

3.2.1 Energía ingresada a través de fertilizantes y pesticidas (Ei). Para facilitar la medición del aporte energético que tienen los insumos estos se dividieron en dos categorías: fertilizantes y pesticidas, y basándose en la técnica propuesta por ROMANELLI y MILAN (2005), se procedió mediante las siguiente fórmula:

$$E_i = E_f + E_p; \quad (3.2)$$

donde; E_f es la energía proveniente de fertilizantes (MJ/ha) y E_p es la energía proveniente de pesticidas (MJ/ha).

El cálculo de la energía ingresada a través de los fertilizantes (E_f) se determinó en base la tasa de aplicación y a la energía involucrada en cada una de las materias primas (CUADRO 5) mediante la siguiente fórmula:

$$E_f = C_i * I_e; \quad (3.3)$$

donde; C_i es la cantidad de insumos aplicado por hectárea (kg/ha) y I_e es el contenido de energía del insumo (MJ/kg). En este estudio se utilizaron valores de 47,8, 12,6 y 6,7 MJ/kg para N, P_2O_5 y K_2O determinados por Kaltschmitt y Reinhardt (1997) citado por HACISEFEROGULLARI *et al.* (2003) y Ferraro (1999), citado por ROMANELLI (2002).

CUADRO 5 Índices energéticos de fertilizantes.

Fertilizante	MJ / kg
N	74,00
Urea	78,04
Anhídrido de amonio	68,03
Nitrato de amonio	77,03
Sulfato de amonio	21,98
Nitrato de potasio	14,65
Nitrato cálcico	16,74
P₂O₅	12,56
Fosfato simple	9,79
Super fosfato triple	6,82
K₂O	6,70
Muriato de potasio	2,88
KCl	7,19
Sulfato potásico	3,35
Calcio (CaO)	2,32

FUENTE Ferraro(1992) y Pelizzi (1992) citados por ROMANELLI (2002)

La energía ingresada al sistema a través de pesticidas se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$E_p = I_{ep} * i_a * q \quad (3.4)$$

donde; I_{ep} es el índice energía del pesticidas por kg. o L de ingrediente activo expresado en MJ (Cuadro 6), i_a es la concentración de ingrediente activo comercial (%) y q es la tasa de aplicación (L/ha).

CUADRO 6 Equivalentes energéticos de pesticidas.

Pesticidas	MJ/kg	Fuente bibliográfica
Herbicida	254,57	PIMENTEL (1980)
Insecticida	184,71	PIMENTEL (1980)
Fungicida	97,13	PIMENTEL (1980)
Diuron	274,62	Fluck y Baird (1982)*
Atrazina	188,38	Fluck y Baird (1982)*
Trifluralina	150,97	Fluck y Baird (1982)*
Paraquat	459,60	Fluck y Baird (1982)*
2.4 - D	87,40	Fluck y Baird (1982)*
Dicamba	295,13	Fluck y Baird (1982)*
Glifosato	454,00	Fluck y Baird (1982)*
Diquat	400,18	Fluck y Baird (1982)*
Amitrol	2,19	Green (1987)*
Captan	115,05	Fluck y Baird (1982)*
Carbofuran	454,20	Fluck y Baird (1982)*
MCPA	0,13	Fluck y Baird (1982)*

*citado por ROMANELLI (2002).

3.2.2 Cálculo depreciación energética (Ede). El total de energía consumida por la depreciación energética se calculó de acuerdo a las siguientes ecuaciones usadas por ROMANELLI y MILAN (2005):

$$Ede = DMM + DMT + DIR; \quad (3.5)$$

Donde: DMM es la energía consumida por la depreciación energética del tractor y su propia maquinaria propulsada (MJ/ha); DMT es la energía consumida por la depreciación energética de la maquinaria e implementos

tirados por el tractor (MJ/ha); DIR es la energía consumida por la depreciación de los implementos de riego (MJ/ha).

Maquinaria: La manufactura de la maquinaria motorizada presenta una demanda específica de energía de 68,9 MJ/kg, llamada en este trabajo como DEEm, a su vez la manufactura de la maquina traccionada por el tractor presentan una demanda específica llamada (DEEt) de 57,2 MJ/kg (Ulbanere, 1989 citado por ROMANELLI, 2002).

El DMM y DMT de maquinaria fueron calculados a través de la siguiente ecuación:

$$\text{DMM o DMT} = M \cdot \text{DEEm} / \text{Co} \cdot \text{Vu} \text{ o } M \cdot \text{DEEt} / \text{Co} \cdot \text{Vu} \quad (3.6)$$

donde M es la masa (kg); DEEm es la demanda específica de energía para la maquinaria motorizada y DEEt es la demanda específica de energía para la maquinaria tirada (MJ/kg); Co es la capacidad operacional de trabajo (ha/h) y Vu es la vida útil del equipamiento (h) (ROMANELLI y MILAN, 2005).

Sistema de Riego: La depreciación energética del sistema de irrigación (DSR) será calculada de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{DSR} = (M \cdot \text{DEE} \cdot \text{Ud} \cdot \text{Pd}) / (\text{Vu} \cdot \text{Ar}) ; \quad (3.7)$$

donde; DEE es la demanda específica de energía (MJ/kg); Ud es el promedio de uso diario (h); Pd son días de irrigación durante el ciclo de cultivo; y Ar es total de área regada por el sistema (ha) (ROMANELLI y MILAN, 2005).

3.2.3 Energía ingresada a través del tubérculo semilla (Ese). ACEVEDO (2006) indica que para determinar las entradas de energía a un cultivo no se contabilizan la energía que contienen los insumos sino la energía involucrada en su producción, procesamiento y transporte. Para la determinación del

valor energético que implica el uso de un kilogramo de papa-semilla se utilizó un antecedente indicado por Kalk *et al.* (1995) citado por HULSBERGEN *et al.* (2001) el cual valorizó con 1,3 MJ/kg al kilogramo de papa semilla, indicando que este valor incluye la energía usada en la producción, almacenaje y venta de este insumo.

De esta forma la estimación de la energía que ingresó al sistema por medio de tubérculo-semilla se usó la siguiente formula:

$$\text{Ese} = \text{Cantidad semilla (kg /ha)} * \text{Valor energético (MJ/kg)} \quad (3.8)$$

3.2.4 Modelo estimativo del consumo de combustible de un tractor.

Para estimar el consumo de combustible de un tractor agrícola se procedió de acuerdo a una modificación de la metodología propuesta por ASAE (1980) en la cual el consumo de combustible se calculó teóricamente en base a la potencia requerida en la barra de tiro y la potencia necesaria en el eje toma de fuerza.

3.2.4.1 Requerimiento de potencia en la barra de tiro: Para el cálculo de potencia en la barra de tiro se utilizó la metodología propuesta por ASAE EP391 citado en ASAE (1980) en el cual la fuerza de tiro requerido para propulsar el implemento es el total de las fuerzas paralelas a la dirección del recorrido y es igual a la sumatoria de las resistencias del suelo, el cultivo y la resistencia al rodamiento del implemento.

3.3.4.2 Resistencia del suelo y cultivo: Esta es la fuerza paralela a la dirección del recorrido resultante del contacto entre el suelo y/o el cultivo y los componentes de trabajo del implemento, y está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia del suelo y cultivo (kN)} = Tu * Ai; \quad (3.9)$$

donde: Tu equivale al tiro unitario implemento (kN/m), los valores de Tu son específicos para cada implemento y la resistencia varia dependiendo del tipo de suelo tomados de ASAE (1980) y Ai es ancho del implemento (m).

3.3.4.3 Resistencia al rodamiento: La resistencia al rodamiento es la fuerza paralela a la dirección del movimiento requerida para transportar un implemento sobre el suelo. Esta fuerza llega a ser apreciable cuando se usan implementos pesados en suelos blandos o sueltos. En otras palabras es la fuerza que opone el terreno al giro de las ruedas. Según ASAE (1980) muchos factores determinan la resistencia al rodamiento, los más importantes son:

- Fricción interna.
- Flexión en los neumáticos.
- Penetración en el suelo.
- Peso sobre las ruedas.
- Presión y diseño de los neumáticos.

Sobre esta base se utilizó la siguiente fórmula para calcular la resistencia al rodamiento de un tractor agrícola:

$$\text{Resistencia al Rodamiento (RR) (kN)} = \text{Peso sobre las ruedas (ton)} * \text{Factor RR (kg/ton)} \quad (3.10)$$

Donde el factor RR varía de acuerdo al tipo de suelo y estos valores fueron tomados de ASAE (1980).

$$\text{Tiro Total} = (\text{Tiro Unitario (kN/m)} * \text{Tamaño de la máquina (m)}) + (\text{Peso Total Máquina} * \text{Factor RR}) \quad (3.11)$$

Así la potencia necesaria en la barra de tiro es:

$$\text{Potencia (kW)} = \frac{\text{Tiro Total (kN)} * \text{Velocidad (km/h)}}{3,6} \quad (3.12)$$

Dado que generalmente la formulación de modelos de consumo de combustible de tractores requiere que la potencia del motor sea expresada en equivalentes PTO de potencia, conociendo la magnitud de la eficiencia de tracción, el equivalente PTO de potencia puede ser calculado para cualquier operación mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PTO equivalentes de potencia} = \frac{\text{Potencia en la barra de tiro}}{(0,96 * TE)} \quad (3.13)$$

donde; TE es la eficiencia de tracción.

3.2.4.4 Requerimiento de potencia en el eje toma de fuerza. El requerimiento de potencia en el eje toma de fuerza corresponde a la potencia que es requerida por el implemento desde el eje toma de fuerza del tractor o el motor y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PTO kW} = \text{Requerimiento de poder kW/m} * \text{ancho máquina (m)} \quad (3.14)$$

Los valores típicos de unidades de potencia de rotación requeridos están disponibles en ASAE (1980). De esta forma tenemos que el total de potencia requerida para un determinado implemento es la suma de los componentes de la potencia convertidos a equivalentes PTO de potencia expresada en la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia total requerida por el implemento (kW)} = \text{PTO kW} + \text{PTO equivalentes de potencia.} \quad (3.15)$$

De esta forma la potencia necesaria en la barra de tiro de un tractor (sólo o con el implemento halado) está dada por las ecuaciones anteriores.

Para la estimación del consumo de combustible de un tractor agrícola se utilizaron ecuaciones propuestas por ASAE (1980). Estas ecuaciones estiman el consumo volumétrico específico (L/h) con el acelerador pisado a fondo. De esta manera no entregan una estimación del consumo de

combustible durante la reducción de velocidad del motor, regulaciones que son a menudo recomendadas para tractores cargados parcialmente KOTZABASSIS *et al.* (1994) y Grisso y Pitman (2001) citados por GRISSO *et al.* (2004). El consumo volumétrico específico para un tractor con motor diesel a cargas parciales y el acelerador pisado a fondo se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$C_c = (2.64X + 3.91 - 0.203(738X + 173)^{1/2}) * X * P_{pto} \quad (3.16)$$

donde:

C_c = Consumo de combustible diesel a distintos niveles de carga (L/h)

X = Relación entre potencia en equivalentes PTO y potencia del tractor.

P_{pto} = Potencia del tractor, kW.

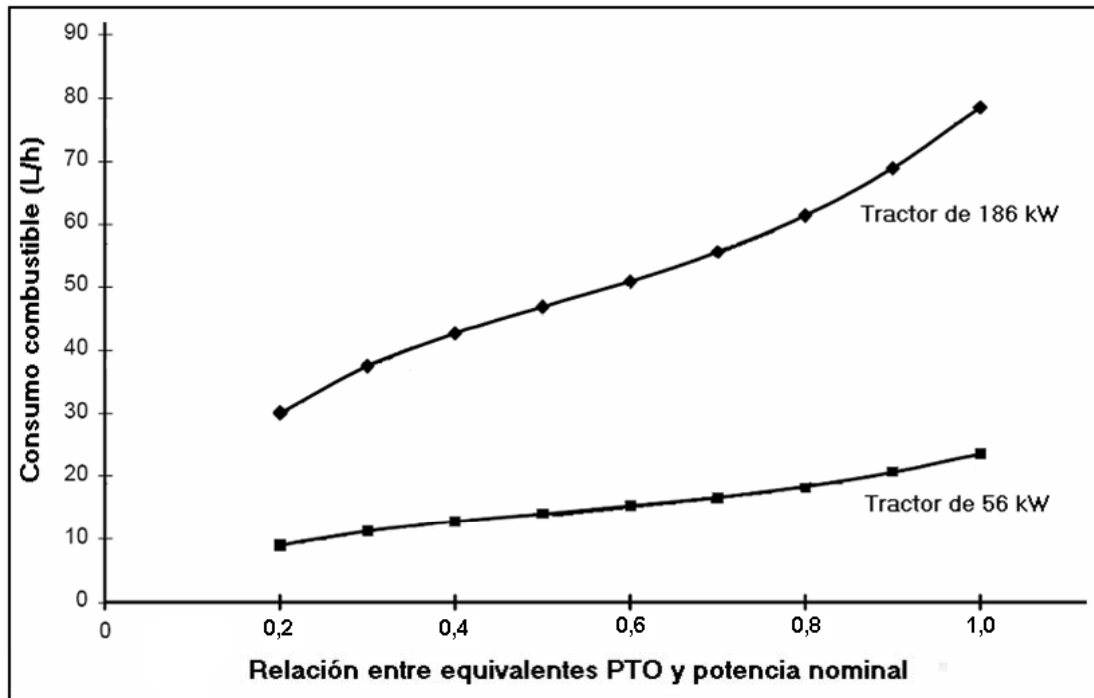


FIGURA 2 Consumo de combustible según diferentes niveles de potencia nominal y equivalentes PTO.

FUENTE: GRISSO *et al.* (2004)

De esta forma el costo energético del consumo de combustible (**Eco**) del tractor en determinadas labores se determinó por medio de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Eco} = (Cc \text{ (L/h)} * Ip \text{ (MJ/L)}) * Ct \text{ (h/ha)} \quad (3.17)$$

donde Cc es el consumo de combustible por hora (L/h); Ip es el índice de energía liberado por el combustible, según BOCKARI-GEVAO *et al.* (2005) 47,8 MJ/L para el caso del petróleo y Ct es la capacidad efectiva de trabajo (ha/h) (HETZ y BARRIOS, 1997)

3.2.5 Costo energético del trabajo humano (Ejh). El consumo energético humano durante actividades agrícolas posee amplio rango de variaciones descritas en la literatura. Fluck, (1992) citado por HÜLSBERGEN *et al.* (2001) describió nueve métodos, incluyendo los requerimientos de energía del músculo, requerimiento de alimentación durante las horas de trabajo, estilo de vida, características de la localidad entre otros. Según Safa y Tabatabaeefar (2002) citado por BOCKARI-GEVAO *et al.* (2005) un hombre demanda 2,2 MJ/h trabajada, 1,96 MJ/h según YALDIZ (1993) citado por YILMAZ *et al.* (2005), 1,93 MJ/h según BAALI y OUWERKERK (2005) y PIMENTEL *et al.* (1973) indica que una jornada hombre equivale a 18,2 MJ y esto corresponde a 2,4 MJ/h. En este trabajo se uso el valor entregado por Safa y Tabatabaeefar (2002) citado por BOCKARI-GEVAO *et al.* (2005) los cuales indican que un trabajador agrícola consume 2,2 MJ/h trabajada. Así para determinar la energía consumida por la aplicación de labor humana se utilizó la siguiente formula:

$$\mathbf{Ejh \text{ (MJ/ha)} = (Ht * Fce)/At,} \quad (3.18)$$

donde; Ht es el total de horas trabajadas (h), Fce; es el factor de consumo de energía por hora de labor humana MJ/h y At es el área trabajada (ha).

3.2.6 Costo energético de sistema de riego (Eir). La energía consumida utilizada por el sistema de riego se calculó de acuerdo la siguiente fórmula:

$$Eir = (Ie * Be * Hu * Nr) / Ai, \quad (3.19)$$

donde Ie es el índice de energía involucrada en la utilización de energía eléctrica equivalente a 11,4 MJ/kW-h según Reinhardt (1993) citado por MEYER-AURICH (2005). Be es la potencia necesaria para que funcione el sistema de bombeo (kW); Hu corresponde a las horas de uso del equipo por riego (h) y Nr es el número de veces que se riega durante el periodo de desarrollo del cultivo y Ai es el área irrigada (ha).

3.2.7 Cálculo para el costo energético de la tracción animal (Eta).

Para es cálculo costo energético de la tracción animal se usó la siguiente fórmula:

$$Eta = Ie \quad (3.20)$$

Donde Ie es el índice de energía requerida en la labor específica realizada en una hectárea (MJ/ha) (ANEXO 1).

3.3 Cálculos de energía bruta producida por el cultivo (EBC).

Por medio de la fotosíntesis los vegetales tiene la facultad de capturar la energía solar y transformarla en energía biológica, así la cantidad de energía que produce el cultivo de papa depende del rendimiento obtenido (ton/ha) y del valor energético atribuido al kilogramo de tubérculo (MJ/kg). Según HÜLSBERGEN *et al.* (2001) la energía bruta producida por el cultivo se define como el valor calorífico de la biomasa cosechada (producto

principal y/o subproductos). En este trabajo se calculó la energía bruta producida por la cosecha a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Energía bruta producida} = \text{MS (\%)} * \text{Pc (kg/ha)} * \text{Ie (MJ/kg)} \quad (3.21)$$

donde: MS corresponde a la materia seca del producto cosechado (25% para papa), Pc es la cantidad de producto cosechado (kg/ha) y Ie corresponde al equivalente energético de un kg. de materia seca (17,2 MJ/kg MS para papa).

CUADRO 7 Contenido de energía bruta de productos cosechados.

Productos cosechados	Contenido de energía (MJ/kg MS)
Papa	17,2
Maíz, granos	14,7*
Arroz, granos	14,7*
Remolacha, raíz	16,8
Remolacha, hojas	16,4
Trigo de invierno, granos	18,6
Trigo de invierno, rastrojo	17,7
Cebada de invierno, granos	18,6
Caña de azúcar, tallos	2,0*
Caña de azúcar, bagazo	7,9*
Cebada de invierno, rastrojo	18,1
Cebada de primavera, granos	18,4
Cebada de primavera rastrojo	18,1

FUENTE: Schiemann (1981) citado por HÜLSBERGEN *et al.* (2001).

*Valores de materia húmeda citados por CHAMSING *et al.* (2006).

Los parámetros fundamentales que se usaron para la medición del flujo energético que circula en el cultivo y que van desde la etapa de establecimiento y finalizan con la cosecha fueron establecidos por Preininger

(1987) y Pospicil y Vicek (2000) citados por ZAK *et al.* (2006) y son los siguientes:

$$\text{Ingresos de energía} = \text{IE (GJ/ha)} \quad (3.22)$$

$$\text{Salidas de energía} = (\text{rendimiento cultivo}) \text{ SBE (GJ/ha)} \quad (3.23)$$

$$\text{Ganancia de energía GBE} = (\text{SBE} - \text{IE}) \text{ (GJ/ha)} \quad (3.24)$$

$$\text{Balance energético BE} = \text{SBE/IE (GJ/ha)} \quad (3.25)$$

3.4 Costo energético del uso de bodegas para almacenaje.

Para la medición de la energía circulante en las bodegas de almacenaje se analizaron dos bodegas con ventilación forzada para la conservación de papas semillas y consumo de 7.000 y 5.000 ton de almacenaje y dos bodegas con aireación para papas semillas y autoconsumo de 2.750 y 39,5 ton respectivamente. Los valores de vida útil de cada estructura fueron obtenidos de la tabla de vida útil fijada por el SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (2008), para bienes físicos del activo inmovilizado que correspondió a 40 años para las bodegas de hormigón con ventilación forzada y 30 años para las bodegas de madera con ventilación natural.

Los cálculos de costos energéticos correspondientes a electricidad y mano de obra se consideraron durante un periodo de 8 meses al año, los cuales van desde abril a noviembre que es el tiempo aproximado de almacenaje de tubérculos durante un año, en el caso de las depreciaciones estas se consideraron anualmente.

Para la estimación del costo energético anual (CEA) por tonelada almacenada de papas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{CEA (MJ/ton)} = \text{DEB} + \text{CE} + \text{CET} / \text{CA} \quad (3.26)$$

donde: CEA (MJ/ton) corresponde al costo por tonelada almacenada, DEB es el costo energético de la depreciación energética de la bodega (MJ/año), CE corresponde al consumo eléctrico de la bodega (MJ/año), CET es el costo energético que tienen las jornadas de trabajo (MJ/año) y CA (ton) es capacidad de almacenaje de la bodega utilizando un factor de conversión de 0,65 ton/m³ de papas.

3.4.1 Depreciación energética de la bodega (DEB). Para el cálculo de la depreciación anual de la estructura de la bodega de almacenaje se utilizó la siguiente fórmula empleada por ALVAREZ (1982):

$$\text{DEB} = (\text{Va} - \text{Vr}) / \text{N} \quad (3.27)$$

donde; Va es el valor de adquisición, Vr es el valor de desecho o valor residual y N es el número de años de vida económica útil. Para transformar la depreciación valorizada en pesos a MJ/año se procedió en base a la metodología usada por ALVAREZ (1982) con la cual se transforman los costos económicos en términos energéticos utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Pesos / MJ} = \frac{\text{Valor económico de un litro de petróleo}}{\text{Valor energético de un litro de petróleo}} \quad (3.28)$$

El valor energético de un litro de petróleo equivale a 47,8 MJ/L, según BOCKARI-GEVAO *et al.* (2005). A través de esta ecuación es posible otorgar un valor económico al MJ, el cual permite valorizar en términos energéticos

cualquier bien, para este caso costo económico de la depreciación estructuras de almacenaje.

3.4.2 Gasto eléctrico durante temporada de almacenaje (CE). El gasto eléctrico producido por el funcionamiento de equipos como ventiladores, seleccionadoras, iluminación, entre otros se traduce en un consumo energético en kW-h el cual varía durante el año dependiendo de las condiciones ambientales externas. De esta forma para calcular la energía consumida por el consumo eléctrico se procedió con la siguiente fórmula:

$$CE \text{ (MJ/año)} = Ge \text{ (kW-h/ año)} * f \text{ (MJ/kW-h)}; \quad (3.29)$$

donde CE (MJ/año) es el consumo energético en electricidad de la bodega durante el periodo de almacenamiento por año, Ge es el gasto eléctrico del periodo de almacenaje durante un año (kW-h/ año) y f es el factor energético de un kW-h medido en MJ, que según PIMENTEL (1984) equivale 12,0.

3.4.3 Consumo energético de las jornadas de trabajo (CET). Para determinar el consumo energético que tiene la mano de obra en todas las diversas labores que se realizan al interior de la bodega de almacenaje durante el periodo almacenamiento de papas se recurrió según la siguiente fórmula:

$$CET \text{ (MJ/año)} = Nt \text{ (trabajadores/día)} * Ht \text{ (h/trabajador)} * Da \text{ (días/año)} * f \text{ (MJ/h)}; \quad (3.30)$$

donde: CET es una estimación de la cantidad de energía consumida por los trabajadores anualmente durante sus labores en la bodega de almacenaje (MJ/año), Nt es el número de trabajadores promedio que desempeñan diariamente al interior de la bodega (trabajadores/día), Da corresponde al

periodo del año en que se utiliza la bodega (días/año) y f corresponde a la demanda energética que necesita un trabajador por hora que según Safa y Tabatabaeefar (2002) citado por BOCKARI-GEVAO *et al.* (2005) equivale a 2,2 MJ por hora trabajada.

4 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El inminente término de las fuentes de hidrocarburos fósiles, el constante aumento del precio y el cambio climático al que estos contribuyen ha hecho aumentar el interés por fuentes de energía renovables. En estas circunstancias los balances energéticos aplicados en la producción agrícola y a los sucesivos procesos productivos para la generación de combustibles renovables pasa a ser una herramienta imprescindible que permite estimar la factibilidad de implementar programas de producción de combustibles a partir de fuentes renovables de energía.

A continuación se presentan los resultados de los análisis energéticos con los cuales fue posible determinar los balances energéticos en la producción y almacenaje de papa en la zona sur de Chile en productotes comerciales y de autoconsumo.

4.1 Insumos y rendimientos en la producción de papa; consumo, semillas y autoconsumo.

En el cuadro 8 se resumen las cantidades de insumos agrícolas y rendimientos, además se incluyen las jornadas hombre y jornadas animal utilizadas en la producción de papa consumo, semilla y autoconsumo.

CUADRO 8 Área cultivada, rendimientos y principales insumos usados tres tipos de producciones de papa.

Insumos/ha	Producción papa consumo	Producción papa semillas	Producción autoconsumo
Fertilizantes (kg)			
N	140	120	120
P ₂ O ₅	560	420	350
K ₂ O	250	300	200
Pesticidas (L o kg i.a*)			
Fungicidas	8,4	8	0
Insecticidas	0,2	1,4	0
Herbicidas	2,6	2,9	0
Combustible (L)	170	166,7	13,9
Jornadas hombre	63	67,7	116
Jornadas animal	0	0	6
Semillas (ton)	3	4,5	1,8
Rendimiento (ton)	55	35	18
Área cultivada (ha)	200	200	0,25

*i.a. = ingrediente activo.

4.1.1 Fertilizantes usados en la producción de papa. Los fertilizantes usados mayoritariamente en los tres tipos de producción son fósforo y potasio respectivamente. El fertilizante aplicado en menor cantidad en los tres grupos corresponde al nitrógeno. La producción de papa consumo usó mayor cantidad de nitrógeno que la producción de papa semilla, dado que este nutriente en altas dosis actúa potenciando el rendimiento, y menores actúa como regulador de calibre. Las dosis de fertilizantes usados en la producción comercial son dependiente del objetivo productivo y del análisis de suelo, en la producción de autoconsumo las dosis usadas son las recomendadas por el programa de desarrollo local (PRODESAL), y para este caso son menores que las usadas en cultivos comerciales.

4.1.2 Pesticidas usados en el cultivo de papa. Los fungicidas y herbicidas son los pesticidas mayormente demandados en la producción de papa consumo y semilla. En la producción de papa semilla se observa que la protección del cultivo está focalizada tanto en la prevención de hongos como de insectos con el objetivo de asegurar la calidad fitosanitaria de la producción. En el cultivo de autoconsumo no se utilizan pesticidas, dado que las labores de control de malezas se realizan mediante escardas manuales y el control químico de hongos e insectos no es una práctica común en este tipo de producción.

4.1.3 Consumo de combustibles fósiles en la producción de papa. Las cantidades de combustible mencionadas corresponden únicamente al diesel utilizado por los motores de tractores agrícolas. Los productores mecanizados son altamente dependientes de combustibles fósiles, ya que todas las operaciones agrícolas involucran el uso de este tipo combustible. Una situación diferente presenta la producción de autoconsumo, la cual usa menos del 10% que los productores comerciales, estos productores sólo

utilizan el combustible necesario para preparar el suelo mediante rastrajes, las demás prácticas se realizan mediante fuerza muscular humana y animal.

4.1.4 Jornadas hombre y animal usadas en el cultivo de papa. La producción de autoabastecimiento utiliza la mayor cantidad de jornadas hombres dado que la mayoría los manejos se realizan mediante fuerza muscular humana, y esta es complementada con fuerza animal en la plantación, aporca, cosecha y transporte de sacos e implementos. Los productores de papa semillas y papa consumo utilizan menores cantidades de jornadas hombre y han desplazado totalmente la fuerza animal por el uso de maquinaria.

4.1.5 Dosis de tubérculos semillas y rendimientos. La producción de papa-semilla usa la mayor de dosis tubérculos semillas (4.500 kg/ha), debido a que mediante el manejo de las densidad de plantación se puede regular el calibre del tubérculo. Los productores de autoconsumo usan las menores dosis de tubérculo-semilla debido a su método de plantación el cual es menos eficiente en la utilización de superficie que el uso de plantadoras mecanizadas. Los mayores rendimiento corresponden a la producción de papa consumo, seguidos por la producción de papa semilla en la cual se obtienen menores rendimientos por el especial manejo agronómico asociado a este objetivo productivo. La producción de autoconsumo obtiene la menor producción y se asocia a la calidad de los insumos usados y al impacto que tiene en el cultivo el uso de fuerza animal y humana.

4.2 Análisis energético en la producción de papa.

En el cuadro 9 se presentan los valores energéticos de todos los insumos indicados en cuadro 8, y además se incluye la depreciación energética de la maquinaria y la electricidad usada en el sistema de riego (MJ/ha).

CUADRO 9 Cuantificación y clasificación energética en tres tipos de producción de papa.

	Fuentes de energía	Consumo		Semilla		Autoconsumo	
Energía directa	Energía biológica	(MJ/ha)	%	(MJ/ha)	%	(MJ/ha)	%
	Jornadas hombre	844,8	2,3	519,2	1,6	2.010,8	10,3
	Jornadas animal	0,0	0,0	0,0	0,0	327,6	1,7
	Tubérculos semillas	3.900,0	10,4	5.525,0	17,2	2.340,0	11,9
	Total energía biológica	4.744,8	12,7	6.044,2	18,9	4.678,4	23,9
	Energía fósil						
	Combustible	8.125,0	21,7	7.487,9	23,4	668,3	3,4
Energía eléctrica	5.349,6	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
Energía indirecta	Energía industrial						
	Fertilizantes	16.284,6	43,5	15.127,6	47,2	14.196,2	72,4
	Pesticidas	2.337,2	6,2	2.399,0	7,5	0,0	0,0
	Depreciación maquinaria	581,3	1,6	973,0	3,0	52,6	0,3
	Total energía industrial	19.203,1	51,3	18.499,6	57,8	14.248,8	72,7
	Total ingresos energía	37.422,5	100,0	32.031,8	100,0	19.595,5	100,0
	Total salidas energía	236.500,0	100,0	153.125,0	100,0	78.750,0	100,0

La energía ingresada en los sistemas de producción se ordenó según la clasificación de FABBRI y SIMÕES DO CARMO (2004) los cuales indican que la energía utilizada en la producción agrícola se divide en dos categorías; energía directa e indirecta. La energía directa incluye tres formas de energía: energía biológica, la cual contempla la labor humana, animal y la energía usada en la producción de semillas, energía fósil correspondiente al petróleo y la energía eléctrica. La energía indirecta incluye a los fertilizantes, pesticidas, construcciones, maquinarias y depreciaciones de esto de acuerdo a su vida útil.

4.2.1 Energía biológica usada en la producción de papa. Para este análisis la energía biológica es responsable del consumo energético de 12,7%, 18,8% y 23,9% en la producción de papa consumo, semilla y autoconsumo respectivamente, siendo la cantidad de tubérculo semilla la principal fuente de energía en los tres casos. En este estudio el costo energético de la dosis semilla fue de 3.900, 5.525 y 2.340 MJ/ha para los tres tipos de cultivos analizados respectivamente. ALVAREZ (1982) registró dosis de semillas de 2,36, 2,43 y 2,15 ton/ha al estudiar la producción de papa consumo semilla y autoconsumo, valorizando estas entradas con 8.908,5, 9.195,8 y 8.094,0 MJ/ha. Cabe mencionar que este autor usó un equivalente energético de 3,77 MJ/kg, y en este trabajo se usó un equivalente de 1,3 MJ/kg. El trabajo humano presenta escasa importancia energética en los sistemas de producción comercial, no así en la producción de autoconsumo donde ocupa 2.010,8 MJ/ha equivalente al 10%. El trabajo animal sólo se utiliza en la producción de autoconsumo.

4.2.2 Energía fósil usada en la producción de papa. El consumo de combustible basado en el diesel representa la segunda fuente energética de mayor importancia en la producción comercial de papa consumo y semilla, 8.125,0 y 7.487,9 MJ/ha respectivamente. En el sistema productor de

autoconsumo el empleo energía fósil representa el 3,4% equivalente a 668,6 MJ/ha. ALVAREZ (1982) registró 7.131,0 y 5.954,8 MJ/ha en grupos de productores comerciales de papa consumo, semilla respectivamente. El mayor consumo energético por concepto de combustible en lo productores comerciales de papa consumo y semilla obtenidos en este trabajo son indicativo de un aumento en la mecanización del cultivo a través del tiempo.

4.2.3 Energía eléctrica usada en la producción de papa. El único registro de energía eléctrica está asociado al sistema de riego usado en la producción de papa consumo. La electricidad usada en este sistema productivo consume 5.350 MJ/ha lo que equivale al 14,3% del total energía, siendo la tercera entrada de energía de mayor importancia en este cultivo.

4.2.4 Energía industrial usada en la producción de papa. Esta forma de energía indirecta constituida por fertilizantes, pesticidas y depreciaciones corresponde a la principal fuente de ingresos energéticos en los tres tipos de productores. La energía indirecta utiliza el 51,3, 57,8 y 72,7% de la energía ingresada en la en la producción de papa consumo, semilla y autoconsumo respectivamente, siendo los fertilizantes los responsables de consumir sobre el 40% de energía en los cultivos comerciales y el 72% en cultivo de autoconsumo, cabe mencionar que la mayor incidencia en este porcentaje esta dado por los fertilizantes nitrogenados los cuales poseen un índice energético superior al fósforo y potasio. Los pesticidas consumen el 6,2% y 7,5% de energía en los cultivos de papa consumo y semilla, siendo este un insumo no usado en la producción de autoconsumo. El consumo de energía por concepto de depreciaciones energéticas de la maquinaria e implementos varía entre 0,3 y 3% en los cultivos analizados.

En la figura 3 se observa que la energía industrial corresponde a la principal forma de energía ingresada en tres los tipos de producción. La

energía fósil ocupa el segundo lugar de importancia en los cultivos productores de papa consumo y semilla, sin embargo en la producción autoconsumo es menos del 5% del total de la energía requerida en la producción.

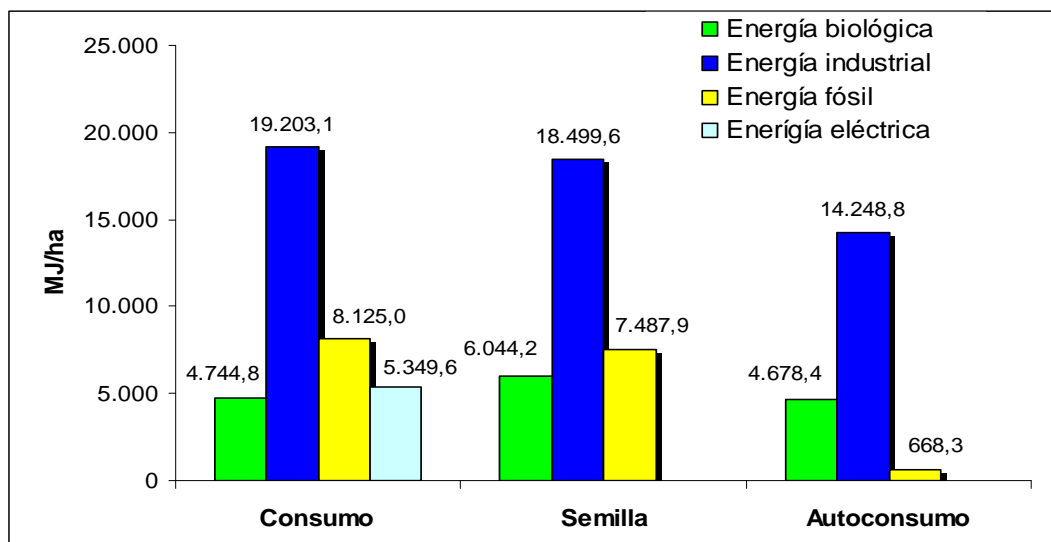


FIGURA 3 Composición de la energía ingresada en la producción de papa; consumo, semilla y autoconsumo.

La energía eléctrica usada en el cultivo de papa consumo representa una importante fuente de ingreso similar en valor al consumo de energía biológica. La energía biológica presenta valores similares en los tres cultivos estudiados, siendo superior en la producción de papa semilla por la elevada dosis de papa semilla que usan. ZAK *et al.* (2006) indican que en cultivos de papas manejados convencionalmente los mayores ingresos de energía corresponden al uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos, seguido por el consumo de combustible, el y los tubérculos semillas. A su vez ALVAREZ (1982), observó que los mayores costos energéticos en cultivos comerciales de papa son: petróleo, tractor, fertilizantes nitrogenados y tubérculos semillas, no obstante al considerar de forma conjunta los costos energéticos del nitrógeno, fósforo y potasio aplicados a los cultivos comerciales, estos pasan a ser el principal costo energético de estos cultivos.

4.3 Consumo energéticos de acuerdo a la operación agrícola.

En el cuadro 10 se indica la demanda energética en las todas operaciones agrícolas realizadas en los tres cultivos analizados.

CUADRO 10 Consumo energético de las operaciones agrícolas en la producción de papa.

Producción	Consumo		Semilla		Autoconsumo	
	MJ/ha	%	MJ/ha	%	MJ/ha	%
Operaciones agrícolas	MJ/ha	%	MJ/ha	%	MJ/ha	%
Desinfección tubérculos.	143,8	0,4	98,3	0,3	0,0	0,0
Barbecho químico.	928,5	2,5	990,5	3,1	0,0	0,0
Preparación de suelo.	2.552,7	6,8	3.400,5	10,6	832,5	4,2
Plantación.	20.838,5	55,7	21.612,1	67,5	17.109,0	87,3
Aplicación herbicidas.	246,8	0,7	285,6	0,9	0,0	0,0
Aplicación pesticidas	1.932,5	5,2	1.561,8	4,9	0,0	0,0
Aporca.	843,7	2,3	846,2	2,6	396,0	2,0
Aplicación de riego	5.627,1	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Segunda aplicación de fertilizantes.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desecante foliar.	279,6	0,7	279,6	0,9	0,0	0,0
Cosecha.	4.029,3	10,8	2.957,2	9,2	1.258,0	6,4
Total entradas	37.422,5	100,0	32.031,8	100,0	19.595,5	100,0
Total salidas	236.500,0	100,0	153.125,0	100,0	78.750,0	100,0

Se observa en este cuadro que los mayores ingresos de energía son aplicados en la plantación, siendo esta etapa responsable de consumir más

del 55% de energía total ingresada en los tres sistemas, esto se debe a que los fertilizantes y las semillas aplicados en el momento de la plantación son insumos de alto costo energético. En segundo y tercer lugar de importancia energética se encuentran la cosecha y la preparación de suelo. También es destacable la escasa importancia energética que posee la cosecha la cual es menor a un 10% del total de energía requerida en los tres cultivos. La diferencia energética en la cosecha en los tres tipos de producción es evidente y están dados principalmente por el nivel tecnológico empleado por cada grupo.

La principal diferencia entre el cultivo productor de papa consumo y semilla en cuanto al total de entradas está dado por el consumo energético en electricidad requerida en las aplicaciones de riego, las cuales son responsable de consumir 5.627,1 MJ/ha en el sistema productor de papa consumo.

4.4 Balance energético en el cultivo de papa.

En el cuadro 11 se indican los balances energéticos y otros parámetros de evaluación energética para la producción agrícola de papa consumo, semilla y autoconsumo. Se observa en este cuadro que el ingreso de energía por hectárea varía según el tipo de producción, siendo la producción de papa consumo el sistema que más energía ingresa, seguido por el sistema productor de papa semilla y autoconsumo. ZAK *et al.* (2006) al estudiar los ingresos de energía en las producciones convencionales de papa consumo registró valores entre 39,1 y 42,4 GJ/ha.

CUADRO 11 Balance energético y otros parámetros de evaluación en la producción de papa.

Producción	Consumo	Semilla	Autoconsumo
Parámetros de evaluación	(GJ/ha)	(GJ/ha)	(GJ/ha)
Ingresos de energía	37,4	32,2	19,5
Salidas brutas de energía	236,5	153,1	78,8
Ganancia energética bruta	199,1	120,9	59,3
BE (Adimensional)	6,3	4,8	4,0

Las salidas de energía por hectárea están directamente relacionadas con las entradas de energía, siendo estas de 236,5, 153,1 y 78,8 GJ/ha en el sistema productor de papa consumo, semilla y autoconsumo respectivamente. ALVAREZ (1982), al analizar grupos similares obtuvo de valores promedios de 91, 103,9 y 54,7 GJ/ha de salidas energéticas en productores de papa consumo, semilla y autoconsumo respectivamente usando un equivalente energético 3,7 MJ/kg de tubérculo fresco. ZAK *et al.* (2006) registraron un valor de salidas energética de 107,5 GJ/ha con rendimientos de 26,82 ton/ha en la producción de papa consumo, de lo cual se deduce que usaron un equivalente energético de 4,0 MJ/kg de tubérculo producido.

Los sistemas productivos comerciales de papa consumo y semilla presentan las mayores ganancia energéticas, 199,1 y 120,9 GJ/ha. La producción de autoconsumo produjo la menor ganancia energética, 59,3 GJ/ha, esto se debe a que la producción de autoconsumo presenta el menor rendimiento lo que se traduce en menores salidas energéticas.

Los valores de eficiencia energética o balances energéticos obtenidos en este trabajo corresponden 6,3, 4,8 y 4,0 en los sistemas productores de papa consumo, semilla y autoconsumo respectivamente.

Los datos bibliográficos de balances energéticos de papa son variables por diferencias en la formas de producción, practicas agrícolas, nivel tecnológico, además del amplio rango de equivalentes energéticos repartidos en literatura. ALVAREZ (1982) determinó eficiencias energéticas de 1,97, 2,73 y 2,75 con rendimientos de 14,4, 27,6 y 24,1 ton/ha en la producción autoconsumo, semilla y comercial respectivamente. ZAK *et al.* (2006) obtuvieron un balance energético de 2,6 en cultivos de papa consumo manejados de forma convencional con rendimientos de 26,6 ton/ha en Eslovaquia. SEYED (2006) investigó la circulación energética en el cultivo de papa en Irán registrando entradas de energía ingresada de 78,4 GJ/ha y rendimiento promedio de 25,8 ton/ha obteniendo una eficiencia energética de 0,98. La variabilidad de los valores y metodologías en los estudios energéticos anteriormente mencionados confirman la importancia de estandarizar una metodología para poder comparar de forma fehaciente investigaciones energéticas realizadas bajo diferentes condiciones y objetivos productivos.

4.5 Costo energético en bodegas para el almacenaje de papas.

Para conservar en buena forma, con el mínimo de pérdidas y por largo tiempo importantes volúmenes de papa, es necesario contar con una infraestructura que permita mantener los tubérculos bajo condiciones ambientales apropiadas durante el periodo de almacenaje. Las bodegas de almacenaje de papas pueden ser clasificadas en bodegas con ventilación natural y con ventilación forzada, las cuales tiene diferentes requerimientos dependiendo de su capacidad y de su objetivo de almacenaje. En el cuadro 12 se indican los principales costos asociados al almacenaje en bodegas con ventilación forzada y con ventilación natural.

CUADRO 12 Capacidad de almacenaje y principales costos en bodegas con ventilación forzada y natural.

Tipo de bodega	Ventilación forzada		Ventilación natural	
	consumo	semilla	Autoconsumo	semilla
Capacidad (ton)	5.000,0	7.000,0	39,2*	2.750,0
Electricidad (kW-h) ¹	58.727,6	116.800,0	7,5*	9.236,0
Jornadas hombre (JH) ¹	3.456,0	3.490,9	14,0*	7.680,0
Depreciación (\$x10 ⁶) ²	19,0	27,1	0,03*	4,7

(¹) Consumo durante un período de 8 meses al año. (²) Valor anual, e incluye la estructura y la maquinaria.

(*) Valores correspondientes al manejo de 7 toneladas.

Los valores de los cuadros 11 y 12 corresponden a las equivalencias energéticas en MJ/ton del cuadro 10 de las distintas bodegas.

4.5.1 Consumo energético en bodegas con ventilación automática.

El cuadro 13 indica los ingresos de energía requeridos por tonelada almacenada en dos bodegas con aireación forzada para el almacenaje de tubérculos para consumo destinados a la industria y tubérculos semillas respectivamente. Los principales costos de estas bodegas corresponden a las depreciaciones energéticas de la estructura de almacenaje y equipamiento usado en su interior. La segunda entrada de energía de mayor importancia corresponde al consumo eléctrico asociados principalmente al intermitente funcionamiento de motores que aumentan la circulación aire al interior de los silos. Las jornadas hombre utilizadas en estas dos bodegas industriales son similares. SMALL y PAHL (2003) mencionan tasas de ventilación entre 7,5 a 10 L/s/ton (litros por segundos por tonelada) para papas semillas y entre 12,5 y 15 L/s/ton para papas consumo destinadas al procesamiento industrial, según este criterio una bodega de papa consumo debería consumir mas electricidad, sin embargo en este estudio el consumo eléctrico de papa semilla es 60 MJ/ton superior a la bodega de papa consumo.

CUADRO 13 Consumo energético en bodegas con ventilación forzada para almacenaje de papa consumo y semilla.

Objetivo almacenaje	Consumo		Semilla	
	MJ/ton	%	MJ/ton	%
Electricidad	140,9	31,0	200,2	38,7
Jornadas hombre	11,4	2,5	8,2	1,6
Depreciaciones	302,8	66,5	308,3	59,7
Total	455,1	100,0	516,8	100,0

4.5.2 Consumo energético en bodegas con ventilación natural.

En el cuadro 14 se presenta el consumo energético en dos bodegas rusticas con ventilación natural para almacenaje de papa semilla y autoconsumo. Se observan en este cuadro que el mayor costo energético corresponde a las depreciaciones, sobre un 60% del total de la energía requerida por tonelada almacenada en ambas bodegas.

CUADRO 14 Consumo energético en bodegas con ventilación natural para almacenaje de papa semilla y autoconsumo.

Objetivo almacenaje	Autoconsumo		Semilla	
	MJ/ton	%	MJ/ton	%
Electricidad	12,9	12,0	40,3	18,2
Jornadas hombre	33,0	30,9	46,1	20,8
Depreciaciones	61,0	57,1	134,7	60,9
Total	106,8	100,0	221,1	100,0

En la bodega de autoconsumo el trabajo humano ocupa el 31% del total de energía. La electricidad corresponde a la entrada de energía de menor importancia, dado que todos los trabajos al interior de la bodega se realizan de forma manual y la electricidad se usa sólo para la iluminación.

La bodega de papa semilla presenta similares características a la bodega de autoconsumo pero con mayor capacidad de almacenaje y con la utilización de maquinaria eléctrica para realizar labores de selección y desinfección. Las depreciaciones por concepto de maquinarias y estructura es la principal entrada de energía, seguido de la mano de obra y la electricidad.

4.6 Energía en la producción y almacenaje de papa.

Con la finalidad de conocer la cantidad total de energía que es requerida durante el proceso de producción-almacenaje a continuación se presenta en la figura 4 los flujos de energía que ingresan y salen en el sistema; A y B son los flujos de energía ingresada en el cultivo y almacenaje respectivamente. El flujo C corresponde a las salidas de energía del cultivo equivalente al rendimiento y D corresponde al equivalente energético de la producción almacenada menos los porcentajes de pérdidas. UACH (2003) registró porcentajes de pérdidas de 18% y 5% al estudiar bodega de papa semilla con ventilación forzada y natural respectivamente. BANSE (1980) indica pérdidas del 5,63% en bodegas con ventilación dirigida para papa destinada a la industria. Para el caso de bodegas de autoconsumo se usó un valor de pérdidas de 13%¹. Así el balance energético en la producción y almacenaje corresponde a la relación entre D y A+B.

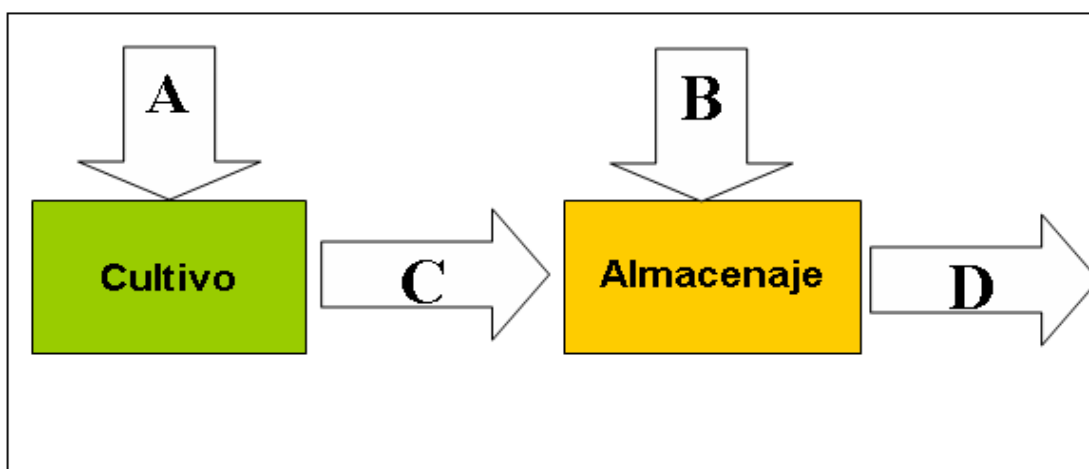


Figura 4 Flujograma del balance energético en el cultivo y almacenaje de papa.

¹ Andrés Contreras, Ing.Agr. Profesor IPSV, UACH. comunicación personal.

En el Cuadro 15 se indican los balances energéticos y la energía usadas en la producción y almacenaje papa en bodegas con ventilación forzada y natural.

CUADRO 15 Costos y balance energético en la producción y almacenaje de papas.

Tipo de bodega	Ventilación forzada		Ventilación natural	
	consumo	semilla	Autoconsumo	semilla
Objetivo almacenaje				
Costos Producción (MJ/ton)	680	915	1.089	915
Costos Almacenaje (MJ/ton)				
Ventilación automática	455	517	**	**
Ventilación natural	**	**	107	221
Costos Totales (MJ/ton)	1.135	1.432	1.196	1.136
Total salidas (MJ/ton)*	4.058	3.526	3.741	4.085
Balance energético	3,6	2,5	3,1	3,6

*Corresponde a la energía contenida en una tonelada de tubérculos menos las pérdidas durante el almacenaje. ** Combinaciones no evaluadas.

Los costos energéticos necesarios para la producción de una tonelada de papa consumo, semilla y autoconsumo son de 680, 915 y 1.089 MJ, estos valores están directamente relacionados con la eficiencia de cada sistema, las cuales son de 6,3, 4,8 y 4,0 (Cuadro 11) respectivamente. Es por esta razón que la producción de autoconsumo presenta el mayor costo energético por tonelada producida, a pesar el de ser el cultivo al cual se le aplicó menor cantidad de energía por hectárea (Cuadro 11).

Los costos totales de energía en los sistemas de producción-almacenaje analizados varían entre 106,8 MJ/ton en bodegas con ventilación

natural para papas de autoconsumo y entre 516,8 MJ/ton en bodegas con forzadas para papa semilla. Se observa que las bodegas con ventilación forzada presentan mayores costos que las bodegas de almacenaje rústicas, si embargo no es posible realizar una comparación fehaciente entre cada una de estas bodegas por las diferencias que estas presentan en capacidad y nivel tecnológico.

Las salidas brutas de energía de una tonelada de papa corresponden a 4.300 MJ. En este estudio las salidas de energía en los sistemas de producción-almacenaje varían entre 3.741 y 4.085 MJ/ton, esta variación energética esta dada por los diferentes porcentajes de pérdidas descritos en literatura asociados a los distintos tipos de bodegas analizados.

La eficiencia energética o balance energético indica la cantidad de unidades energéticas que el sistema genera por cada unidad de energía que ingresada al sistema. Los sistemas producción-almacenaje analizados presentan valores de eficiencia energética entre 2,5 y 3,6. Estos valores son válidos para cada sistema pero no son comparables entre ellos por razones de escala de las bodegas de almacenaje y en las superficies de producción (Cuadro 8 y 12).

5 CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología para cuantificar las entradas de energía y calcular el balance energético en el cultivo y almacenaje de papa en distintos sistemas de producción y en bodegas con ventilación natural y forzada.

Las entradas de energía y el balance energético en la producción de papa consumo semilla y autoconsumo fueron; 37,4, 32,2 y 19,5 GJ/ha y 6,3, 4,8 y 4,0 respectivamente. Estos valores están relacionados con las entradas de energía de acuerdo al objetivo productivo, rendimientos y el año estudiado.

En la producción de papa consumo y semilla los requerimientos de energía en orden de prioridad se generaron por; los fertilizantes, el combustible y la cantidad de tubérculos semillas, y en la producción de autoconsumo por; los fertilizantes, los tubérculos semillas y las jornadas hombre, donde la plantación, cosecha y preparación de suelo son las operaciones agrícolas con mayor consumo energético en los tres tipos de producción estudiados.

Las principales entradas de energía por tonelada almacenada son: las depreciaciones, electricidad y mano de obra en bodegas con ventilación dirigida y las depreciaciones, mano de obra y electricidad en bodegas con ventilación natural respectivamente.

Los balances energéticos en los sistemas producción-almacenaje fueron similares, sin embargo estos valores no son comparables entre si por las diferencia en la escala de trabajo de los sistemas de producción y almacenaje.

6 RESUMEN

Con el objetivo de determinar el balance energético en la producción y almacenaje de papa en la zona sur de Chile se diseñó una metodología para medir las entradas y salidas energéticas en la producción de papa destinada al consumo, tubérculo semilla y autoconsumo, almacenadas en bodegas con ventilación natural y forzada. Los datos fueron obtenidos mediante encuestas personales a empresas y agricultores.

Las entradas de energía en el cultivo de papa consumo, semilla y autoconsumo fueron de 37,4, 32,0 y 19,6 GJ/ha, y las salidas de energía y el balance energético fueron de 236,5, 153,1, 78,8 GJ/ha y 6,3, 4,8 y 4,0 respectivamente. Las principales entradas de energía en las producciones de papa para consumo y semilla fueron los fertilizantes, el combustible y los tubérculos semillas. En la producción de autoconsumo las entradas de energía más importantes fueron los fertilizantes, los tubérculos semillas y las jornadas hombre. La plantación, la cosecha y preparación de suelo fueron las operaciones energéticamente más costosas en los tres cultivos estudiados.

En el estudio energético de las bodegas de almacenaje los costos por tonelada almacenada fueron de 455,1 y 516,8 MJ en bodegas con ventilación forzada para almacenaje de papa consumo y semilla y 221,1 y 106,8 MJ en bodegas con ventilación natural para almacenaje de papa semilla y autoconsumo respectivamente. Los balances energéticos en los sistemas producción-almacenaje de papa consumo y semilla almacenados en bodegas con ventilación forzada fueron de 3,6 y 2,5 y 3,6 y 3,1 en producciones de papa semilla y autoconsumo almacenadas en bodegas ventilación natural respectivamente.

6 SUMMARY

With the aim to determine the energy balance in the potato production and potato storage in Southern Chile, a methodology was developed for measuring input-output energy in the potato production for consumption, seed tuber, and autoconsumption, which are stored in storerooms with natural and forced ventilation. The following data comes from a survey carried out by the researcher to companies and farmers.

The results showed that total input energies in the potato crop for consumption, seeds, and autoconsumption were 37,4, 32,0, 19,6 GJ/ha. Meanwhile both the output energy and energy balance were 37,4, 32,0, 19,6 GJ/ha, 6,3, 4,8 and 4,0, respectively. The most significant input energies in the potato production for consumption and seeds were the fertilizers, fuel, and tuber seeds. While in the autoconsumption production the most important input energies were the fertilizers, tuber seeds, and workforce. The highest energy consumption in all three analyzed crops was used in plantation, crop, and soil preparation.

According to the energetic study of storerooms, the costs for stored ton were 455,1 and 516,8 MJ in forced ventilation storerooms for potato for consumption and seeds. Therefore, the costs in natural ventilation storerooms for tuber potato and autoconsumption potato were 221,1 and 106,8 MJ, respectively. On the one hand, the energy balances in the production-storage system for potato for consumption and seeds stored in forced ventilation storerooms were 3,6 and 2,5. On the other hand, the tuber potato productions and autoconsumption stored in natural ventilation storerooms were 3,6 and 3,1.

7 BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, E. 2006. Agroenergía un desafío para Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. La Pintana, Santiago.176p.
- ALALUNA, E., RODRÍGUEZ, G. y VILLAGARCÍA, S. 2001. Interacción de la variedad, tamaño de tubérculo y densidad de siembra en la producción de tubérculos-semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.). UNALM 49: 122-130
- ALVAREZ, L. 1982. Balance energético en agroecosistema de papa (*Solanum tuberosum* L.) en las provincias de Valdivia, Osorno, Llanquihue y Chiloé. Universidad Austral de Chile. Facultad de Agronomía. Valdivia, Chile. 52p.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 1980. Agricultural engineers yearbook. Michigan. 80p
- BAALI, E y OUWERKERK, E. 2005. Energy Balance of Wheat Production in Morocco. Deutscher Tropentag. International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. University of Hohenheim, Stuttgart Centre for Agriculture in the Tropics and Subtropics.
- BANSE, J. 1980. Técnicas de almacenamiento de papas. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín técnico N° 34.

- BOCKARI-GEVAO, S., WAN ISHAK, W., AZMI, Y. y CHANG, C. 2005. Analysis of energy consumption in lowland rice-based cropping system of Malaysia. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 27(4): 819-826.
- CAMPOS, A. y CAMPOS, A. 2004. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. *Ciência Rural.* 34(6):1977-1985.
- CAMPOS A., CORRÊA, J., TORRES DE CAMPOS, A., BUENO, O., RESENDE, H., GASPARINO, E. y KLOSOWSKI, E. 2003. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. *Ciência Rural.* 33 (4).
- CAVIARES, 2006. Balance energético de la producción de etanol de maíz. **In:** Acevedo, E (ed). *Agroenergía un desafío para Chile.* Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. La Pintana, Santiago. 176p
- CHAMSING, A., SALOKHE, V., y SINGH, G. 2006. Energy Consumption Analysis for Selected Crops in Different Regions of Thailand. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal.* Manuscript EE 06 013. Vol. VIII. November, 2006.
- CHILE, VII CENSO NACIONAL AGROPECUARIO y FORESTAL. 2008. Superficie sembrada, producción y rendimiento de cereales, leguminosas y tubérculos, en riego y secano, según región, provincia y especie (On line) < www.censoagropecuario.cl > (15 julio 2008).

CHILE, SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS.2008.Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado. (On line) < www.sii.cl > (15 julio 2008)

CONTRERAS, A. 2003. Papa. In: Faiguenbaum, H (ed). Labranza, siembra y producción de los principales cultivos en Chile. Universidad de Chile. Chile. Capitulo XIII: 599-696.

CONTRERAS, A. 2007. Apuntes del ramo Raíces y Tubérculos. Calidad en papas.<www.siveduc.cl> (12 Junio 2007).

DE FREITAS, S., MASCARENHAS M. y FREDO C. 2006. Análise Comparativa Do Balanço Energético Do Milho Em Diferentes Sistemas De Produção. XLIV CONGRESSO DA SOBER.

ERDAL, G., ESENGÜN, K., ERDAL, H., y GÜNDÜZ, O. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Gaziosmanpasa University. Faculty of Agriculture, Tokat, Turkey. Energy 32 (1): 35-41.

FABBRI, R. y SIMÕES DO CARMO, M. 2004. Energetic study about conventional, organic and biodynamic cropping systems of sweet potato (*Ipomoea batatas*). Proceedings of IV Biennial International Workshop "Advances in Energy Studies". Brasil.

FAIGUENBAUM, H. 1988. Producción de cultivos en Chile. Editorial Universidad Católica de Chile, Chile.

- GRISSE, R. KOCHER, M. y VAUGHAN, D. 2004. Predicting tractor fuel consumption. American Society of Agricultural Engineers.20(5): 553–561.
- HACISEFEROGULLARI, H., ACAROGLU, M. y GEZER, I. 2003. Determination of the Energy Balance of the Sugar Beet Plant. Energy Sources. 25(1):15-22.
- HETZ, E. 1992. Energy utilization in Chilean agriculture. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 23: 52-56. Original no consultado) compendiado en Sciecedierect (on line) <<http://www.sciencedirect.com>> (9 oct. 2007).
- HETZ, E. 1994. Utilización de energía en la producción de raps, bajo cuatro sistemas de labranza en la provincia de Ñuble. Agro Sur (Chile) 22(1): 1-6.
- HETZ, E. y BARRIOS A. 1997. Costo energético de las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile. Agro Sur (Chile) 5 (2)
- HOHNHOLZ, J., DOMRÖS, M., KOHLHEPP, G. y MENSCHING, H. 1991. Applied Geography and Developed. Institut Für Wissenschaftliche Zusammenarbeit. Federal Republic of Germanic.127p
- HÜLSBERGEN, K., FEIL, B., BIERMANN, S., RATHKE, G., KALK, W. y DIEPENBROCK, W. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. Agriculture, Ecosystems and Environment 86:303–321.

- KOZIOSKI, G. y CIOCCA, M. 2000. Energia e sustentabilidade em agroecossistemas. *Ciência Rural*. 30(4): 737-745.
- LOPEZ, H. 1994. El cultivo de la papa en Chile. In: Metodología para mejorar la producción y uso de tubérculos-semillas de papa en Chile. Serie Remehue N°51.INIA.13-22p.
- MCLAUGHLIN, N., HIBA, A., WALL, G. y KING, D.2000. Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production. Eastern Cereal and Oilseed Research Centre, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada. *Canadian agricultural engineering*.42 (1).
- MEYER-AURICH, A. 2005. Economic and environmental analysis of sustainable farming practices – a Bavarian case study. *Agricultural Systems* 86: 190–206.
- PIMENTEL, D. 1980. Handbook of energy utilization in agriculture. Boca Raton: CRC Press. 475p.
- PIMENTEL, D., BERARDI, G. y FAST, S. 1983. Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 9:359-372. (Original no consultado) compendiado en Sciecedierect (on line) <<http://www.sciencedirect.com>> (9 oct. 2007).
- PIMENTEL, D., HURD, L., BELLOTTI, A., FOSTER, M., OKA, I., SHOLES, O. y WHITMAN, R. 1973. Food production and the energy crisis. *Science*. 11 (182): 443-449.

PIMENTEL, D. 2003. Ethanol fuels: energy balance, economics, and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research*.12 (2)

PIMENTEL, D. 1993. Economics and energetic of organic and conventional farming. *Journal of agricultural and Environmental Ethics*.6 (1). (Original no consultado) compendiado en Sciecedierect (on line) <<http://www.sciencedirect.com/> (11 oct. 2007).

ROMANELLI, T. 2002. Modelagem do balanço energético na alimentação suplementar para bobinos. Universidade de Sao Pablo. Sao Pablo, Brazil.129p.

ROMANELLI, T. y MILAN, M. 2005. Energy balance methodology and modeling of supplementary forage production for cattle in Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*.62(1):1-7.

RŽONCA y POSPIŠIL, R. 2004. Energetická bilancia pestovania obilnín. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre .Slovenská Republika. Mendelnet'04 Agro ISBN 80-7157-813-4. (Original no consultado) compendiado en Sciecedierect (on line) <<http://www.sciencedirect.com/> (16 oct. 2007).

SANTOS, J., KALAZICH, J. Y SIERRA, C. 2001.Cultivos industriales. Papa. In: Agenda del salitre. SOQUIMICH. 11°ed. Santiago, Chile. 657-672p.

SARTORI, M. y FLORENTINO H. 2007. Energy balance optimization of sugarcane crop residual biomass. *Energy* 32: 1745–1748.

- SCHNEIDER, I. y NAFUS, D. Energy input for potato production. In PIMENTEL, D.1980. Handbook of energy utilization in agriculture. Boca Raton: CRC Press. 475p.
- SEYED, H. 2006. Energy Efficiency and Ecological Sustainability in Conventional and Integrated Potato Production System. Advanced Technology in the Environmental Field. Islas Canarias, España.265p. (Original no consultado) compendiado en Science direct (on line) <<http://www.sciencedirect.com/> (18 oct. 2007).
- SIMS, B. 1987. Mecanización para el pequeño agricultor. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D.F. México.
- SMALL, D. y PAHL, K. 2003. Storage structures and Ventilation. Adapado de Guide to Commercial Potato Production on the Canadian Prairies, publicado por Western Potato Council,2003.
<<http://www.agriculture.gov.sk.caDefault.aspxDN=bbc83aa4-711a-410a-8ea1-987c5129d99a>>(16 nov. 2007).
- THE ANNUAL ENERGY REVIEW (AER). 2006. Officine of Energy Markets and End Use. Departament of Energy. Washington.USA.
- UHLIN, H. 1999. Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 73, 63-81p
- UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS (UACH). 2003. Proyecto fondo SAG 24-10-100, 2001-2005. Diseño de una estrategia de control integrado orientada a

incrementar la calidad fitosanitaria del cultivo de papa en la región sur de Chile. Informe técnico anual.

YILMAZ, I., AKCAOZ, H. y OZKAN, B. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. Faculty of Agriculture. University of Akdeniz, Turkey. Renewable Energy. Vol 30, N° 2. 145-155.

ZAK, S., MACAK, M., KOVAC, M. 2006. Energy balance of potato growing in ecological, low-input and conventional production system. Polnohospodarstvo 52 (3): 132-143.

ANEXOS

ANEXO 1 Promedios de fuerza, potencia y energía requerida por bueyes en diferentes labores agrícolas según SIMS (1987).

Labor	Implemento	Fuerza		Potencia (W)	Energía constante/ha (MJ)
		de tiro (N)	Velocidad (m/s)		
Arar	Arado vertedera	1118	0,98	1,09	60,4
Rastrillar	Rastra discos	159	0,88	0,14	12,6
Rastrillar	Rastra de púas	724	0,75	0,54	9,0
Nivelar	Pala madera	436	0,80	0,35	5,5
Surcar	Surcadora	651	0,86	0,56	16,7*
Sembrar y surcar	Sembradora y surcadora	584	0,91	0,53	14,7*
Sembrar	Sembradora	247	0,97	0,24	6,2*
Cultivar	Cultivadora	178	0,84	0,15	14,7*
Aporcar	vertedera	899	0,70	0,63	22,5*

* Energía/ha suponiendo 0,5 m entre surcos.

ANEXO 2 Encuesta análisis energético en cultivo de papa.

Antecedentes del Productor y del Predio

Nombre del productor _____ Comuna _____ Sector _____

Nombre del predio _____

Variedades producidas: _____

Superficie total _____

Rendimiento total
esperado _____ ton/h

Objetivos productivos:

Para producción de papa
consumo _____ ha.

Para producción de
semillas _____ ha.

Para venta a
industria _____ ha.

Marca y modelo	Peso (kg)	Ancho de trabajo (m)	Capacidad Operacional (ha/h)	Volumen estanque (L)	Nº operarios
Equipos de aspersión					

1.0 Aplicación de herbicida para secar pradera.

Comentarios:

1.1 Aplicación de cal.

	Marca y modelo	Peso (kg)	Ancho de trabajo (m)	Capacidad Operacional (ha/h)	Volumen estanque (L)	Nº operarios
Encaladora						

Comentarios: _____

2.0 Preparación de suelo

Época de preparación de suelo: _____

2.1 Con tracción mecánica.

Implementos mecánicos utilizados.

Tractor utilizado	Marca y modelo	Potencia (hp)	Peso (kg)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios
Tractor					
Tractor					
Tractor					

Comentarios: _____

Implementos	Marca y modelo.	Peso (kg)	Ancho de trabajo (m)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios
Arado cincel					
Arado discos					
Motocultor					
Rotobator					
Rastra Offset					
Rastra Tandem					
Rastra de clavos					
Rotofresadora					

2.1 Con tracción animal.

Época de preparación de suelo:

En la preparación de suelo utiliza: ___ Caballo

___ Yunta de bueyes.

Aradura	Implemento usado	Peso (kg)	Ancho de trabajo (m)	Tiempo de trabajo h/ha	Nº operarios por ha.	Jornada de trabajo
	Cultivadora					
	Arado de palo					
	Arado de punta					

3.0 La plantación se realiza:

Dosis de papas semillas por hectárea:

_____ kg.

3.1 Mediante Maquinaria.

Plantadora	Marca y modelo	Peso (kg)	Ancho de trabajo (m)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios

Comentarios: _____

3.2 Mediante esfuerzo humano y tracción animal

Animal usado en la tracción: ___ Caballo

___ Yunta de bueyes.

Hombres/ha/día	Jornada de trabajo (Ej. 7:30-12:30 y 14:00-18:00)	Duración preparación de suelo h/ha

Comentarios: _____

4.0 Tratamiento de las papas semillas antes de la plantación.**4.1 Desinfección:**

Desinfección de semillas	Producto	Dosis/ha	Capacidad Operacional (kg/h)	Nº operarios desinfectando

Comentarios:

4.2 Pre brotación

Jornadas hombre en esta labor.	Jornada de trabajo (Ej. 7:30-12:30 y 14:00-18:00)	Duración de prebrotación de papas semillas.

5.0 Fertilizantes utilizados.**5.1 Fertilizantes sintéticos usados en la plantación.**

Fertilizantes	Dosis (kg/ ha)	Tipo de fertilizante
N		
N		
P2O5		
P2O5		
K20		
K20		

5.2 Fertilizantes orgánicos usados en la plantación.

Fertilizante	Cantidad por hectárea (kg/ha)
Estiércol de bovino	
Estiércol de ovino	
Guano de gallinas	
Otros	

6.0 Manejo del cultivo.6.1 El control de malezas se realiza:6.1.1 Control de malezas mecanizado.

Producto	Dosis (L/ha)	Producto	Dosis (L/ha)

Comentarios: _____
_____6.1.2 Control de malezas manual.

Herramienta usada	Nº de veces durante el cultivo	Jornada de trabajo (Ej. 7:30-12:30 y 14:00-18:00)	Nº trabajadores/ha.

6.2 Control de Insectos

Producto	Dosis (L/ha)	Producto	Dosis (L/ha)

Comentarios: _____
_____6.3 Control de hongos.

Producto	Dosis (L/ha)	Producto	Dosis (L/ha)

7.0 La aporca se realiza:7.1 Mediante maquinaria.

Maquinaria propulsada	Marca y modelo	Peso (kg)	Ancho de trabajo (m)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios
Arado aporcador					

Comentarios: _____

7.2 De forma manual.

Herramienta usada	Nº trabajadores por hectárea.	Jornada de trabajo (Ej. 7:30-12:30 y 14:00-18:00)	Horas en aporcar una hectárea.

7.3 Mediante tracción Animal.

Animal usado en la tracción: ___ Caballo

___ Yunta de bueyes.

Hombres/ha/día	Jornada de trabajo (Ej. 7:30-12:30 y 14:00-18:00)	Duración de aporca h/ha

7.4 La Segunda parcialización de fertilizantes la realiza mediante:7.4.1 Maquinaria.

Maquinaria propulsada	Marca y modelo	Peso (kg)	Ancho De trabajo (m)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios
Trompo					
Otros					

Fertilizantes	Dosis (kg/ ha)	Tipo de fertilizante
N		
K20		

Comentarios: _____

7.4.2 De forma manual.

Nº hombres/ha/día	Jornada de trabajo (Ej. 7:30-12:30 y 14:00-18:00)	Duración la labor de fertilización h/ha

8.0 Equipo de riego.

	Marca y modelo	Peso (kg)	Potencia (kW)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios
Riego					

	Uso (h/día)	Días de trabajo	Área de trabajo (m2)
Riego			

Comentarios: _____

9.0 Aplicación de desecantes foliares.

Producto	Dosis (L/ha)	

Comentarios:

10.0 La cosecha se realiza:

10.1 Mecanizada:

Maquinaria automotriz	Marca y modelo	Peso (kg)	Ancho De trabajo (m)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios

Comentarios:

De forma manual.

Maquinaria o implementos usados en la cosecha.

10.2.1 Cosecha con hualato.

Hombres/ha/día	Jornada de trabajo (ej. 7:30-12:30 y 14:00-18:00)	Duración cosecha/ha (días)

10.2.2 Mediante tiro animal.

Utilización de arado papero de tiro animal.

Animal usado en la tracción: ___ Caballo

___ Yunta de bueyes.

Hombres/ha/día	Jornada de trabajo (Ej. 7:30-12:30 y 14:00-18:00)	Duración cosecha/ha (días)

11.0 El transporte desde lugar de cosecha a bodegas de almacenaje se realiza:

11.1 De forma manual:

Nº de hombres transportando la cosecha de una hectárea: _____

Tiempo de transporte de una hectárea cosechada: _____

11.2 Con animales de tiro:

Animal usado en la tracción: ___ Caballo

___ Yunta de bueyes.

Nº de hombres trabajando en la cosecha de una hectárea: _____

Tiempo de transporte de una hectárea cosechada: _____

11.3 Con colosos tirados por tractor:

Maquinaria motorizada	Marca y modelo	Potencia (hp)	Peso (kg)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios
Tractor					

Capacidad del coloso.

Nº de hombres trabajando en la cosecha de una hectárea: _____

Tiempo de transporte de una hectárea cosechada: _____

Características coloso	Marca y modelo	Capacidad (sacos o kg)	Peso (kg)	Capacidad Operacional (ha/h)	Nº operarios

12.0 La selección en bodega se realiza:

12.1 De forma manual:

Nº hombres seleccionadores	Tiempo de selección por ton

12.2 De forma mecanizada:

Marca y modelo.	Costo eléctrico mensual (kW)	Peso (kg)	Vida útil máquina	Jornadas Hombre/ton desinfectada

13.0 Características de la bodega de almacenaje.

Dimensiones del la bodega de almacenaje (Ej. 4m ancho *8m largo *3m alto): _____

Costo total de la bodega: _____

Materiales de construcción del:

A) Piso: _____

B) Techo:

C) Paredes: _____

Costos totales mensuales en electricidad (kW):

A) Por ventilación forzada:

B) Por iluminación

C) Por funcionamiento de maquinaria de selección

D) Otros.

Costos totales en electricidad bodega (\$ o kW)	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre

Otros costos de mantenimientos y normal funcionamientos de la bodega de almacenaje_

Número de trabajadores de planta:

Contrataciones extras:

Maquinaria usada al interior de la bodega (Modelo, precio, peso, vida útil, función)

