



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE

Modelación del Gasto Energético en Sistemas de
Producción de Ovinos. Prototipo en la Región de
O'Higgins.

Informe de Residencia presentada como requisito para optar para el título de Ingeniero Agrónomo
por:

Ruslán Gorielov Salas.

Diciembre 2014

Santiago, Chile.

FACULTAD DE AGRONOMIA E INGENIERIA FORESTAL



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
FACULTAD DE AGRONOMÍA E INGENIERÍA FORESTAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ANIMALES

Modelación del Gasto Energético en Sistemas de Producción de Ovinos. Prototipo en la Región de O'Higgins.

Informe de Residencia presentada como requisito para optar para el título de Ingeniero Agrónomo
por:

Ruslán Gorielov Salas.

Comité:

Profesor guía: Claudio Aguilar G. Ing Civil, Ms. C.

Paula Toro-Mujica Ing. Agr., Ms. C., Dra.

Profesores informantes: Juan Gastó C. Ing. Agr., Ph. D.

Diciembre 2014

Santiago, Chile.

AGRADECIMIENTOS

A mi querida familia
por su incondicional apoyo.

A todos mis profesores
en especial al Profesor Claudio Aguilar G.

a la Profesora Paula Toro-Mujica

y al Profesor Juan Gastó C.

por la oportunidad, la comprensión, la paciencia y la sabiduría entregadas.

Gracias a los que creyeron en mí

A mis amigos y a mi gran amor.

Índice

I)	Introducción	5
II)	Objetivos.....	8
III)	Antecedentes.....	9
IV)	Metodología	20
V)	Resultados.....	42
VI)	Discusiones.....	49
VII)	Conclusiones.....	54
VIII)	Bibliografía.....	56
IX)	Anexos.....	59

Índice de Tablas.

Tabla 1 - Gastos energéticos por labores en dos Unidades Productivas (UP) de terneros de engorda en Tectapán, Chiapas, México.....	11
Tabla 2 - Análisis productivo y energético de dos unidades de productivas.....	12
Tabla 3 - Análisis energético y proteico de dos unidades de producción.....	13
Tabla 4 - Resultados de Valores de Energía Eléctrica.....	14
Tabla 5 - Resultados en MJ/ha de faenas distintos tipos de Maquinarias Agrícolas.....	35
Tabla 6 - Resultados en MJ/Kg de distintos fertilizantes comercializados en el mercado...	36
Tabla 7 - Costo Energético Semillas.....	37
Tabla 8 - Valores medios y nivel de significación de variables cuantitativas.....	41
Tabla 9 - Resultados de Energía Solar.....	42
Tabla 10 - Resultados de Energía de Fitomasa y Evapotranspiración (MJ/ha).....	43
Tabla 11 - Resultados de Energía de Maquinaria (MJ/ha).....	44
Tabla 12 - Costo Energético del Trigo en Agroquímicos y Semillas.....	45
Tabla 13 - Costo Energético del Maíz en Fertilizantes y Semillas.....	45
Tabla 14 - Costo Energético de la Avena (forrajera anual) en Fertilizantes y Semillas.....	46
Tabla 15 - Energía Agroquímicos y Semillas.....	46
Tabla 16 - Resultados productivos de Cordero y Oveja (Kg) por Grupo Tipológico con un recambio del 20% anual.....	48

Tabla 17 - Resultados productivos por Grupo Tipológico en Kilogramos de animal vivo por mes de producción.....	48
Tabla 18 - Intensidad Energética Total Maquinaria, Agroquímicos y Semillas por Grupo Tipológico en MJ/Kg.....	49
Tabla 19 - Intensidad Energética Total de Fitomasa por Grupo Tipológico en MJ/Kg.....	49
Tabla 20 - Intensidad Energética Total de Evapotranspiración por Grupo Tipológico en MJ/Kg.....	49
Tabla 21 - Intensidad Energética Proporcional al Consumo de Maquinaria, Agroquímicos y Semillas por Grupo Tipológico en MJ/Kg animal vivo.....	50
Tabla 22 - Intensidad Energética Proporcional al Consumo de Fitomasa por Grupo Tipológico en MJ/Kg animal vivo.....	50
Tabla 23 - Intensidad Energética Proporcional al Consumo de Evapotranspiración por Grupo Tipológico en MJ/Kg animal vivo.....	50
Tabla 24 - Resultados de Intensidad Energética por Método de Energía Total y Proporcional al Consumo (MJ/Kg animal vivo).....	51

Índice de Figuras

Figura 1 - Producción de energía y proteínas de los predios estudiados.....	17
Figura 2 - Producción agrícola, pecuaria y el balance energético de los predios.....	18

I) Introducción.

Hasta hace más de seis décadas atrás, los rendimientos de los cultivos agrícolas eran dependientes de los recursos generados en el predio, del reciclaje de materia orgánica, del control biológico, de las precipitaciones y en general, del clima en la región. Sin embargo, los rendimientos agrícolas no experimentaban grandes variaciones en el tiempo. Las cifras en los rendimientos eran moderadas, pero estables. El déficit más común en el suelo, era el de nitrógeno, y se suplía con la rotación de cultivos de leguminosas. La degradación ambiental era casi nula, y la relación entre la agricultura y la ecología era bastante estrecha (Altieri, 1994).

En la medida en que la modernización agrícola avanzó, se produjo un quiebre entre agricultura y ecología. De hecho, a partir del siglo XXI se acumula evidencia, que indica que la producción actual, como sistema agropecuario, está enfrentada a una crisis ambiental (Altieri, 2002). Esta afirmación surge debido a la gran cantidad de personas preocupadas de la sostenibilidad a largo plazo de los actuales sistemas de producción de alimento en el mundo. El actual sistema agrícola intensivo de uso de recursos no renovables, capital y tecnología, ha sido extremadamente productivo y competitivo produciendo una serie de desbalances económicos, sociales y ambientales (Conway y Pretty, 1991).

La especialización de la producción, los monocultivos, la mecanización, y la ausencia de rotaciones y diversificación, han eliminado los mecanismos de autorregulación de plagas, malezas y nutrientes. Lo que convirtió a los monocultivos en agroecosistemas altamente vulnerables y dependientes de insumos químicos y energéticos no renovables (Altieri, 2002).

En estas últimas dos décadas han sido descritas enfermedades ecológicas relacionadas con los sistemas agropecuarios intensivos y especializados. Por ejemplo, la enfermedad del Ecotopo debido a la erosión, la pérdida de fertilidad del suelo, las pérdidas de agua de napas subterráneas por contaminación con fertilizantes nitrogenados; como también salinización, y alcalinización. Otro ejemplo, son las enfermedades de la Biocenosis, que comprenden la resistencia genética a los pesticidas, contaminación química, reaparición de plagas, destrucción de los mecanismos de control natural, pérdida de la biodiversidad de cultivos,

plantas silvestres y expresión genética de producción animal. Bajo estas condiciones de intensidad de producción, surgen estas “enfermedades”. Su tratamiento requiere de un aumento de los costos externos, de tal forma, que la cantidad de energía invertida para producir supera la cosechada (Gliessman, 1997).

Los sistemas productivos intensivos actuales son altamente dependientes de Energía. La fuente de energía que alimenta los sistemas ganaderos extensivos, principalmente proviene del sol. Estas cifras disminuyen en sistemas intensivos, debido al aumento de la dependencia de energías no renovables convencionales (Llanos *et al.* 2013).

El uso de la energía puede ser medido, dimensionado y comparado utilizando los conceptos de Intensidad Energética y Eficiencia Energética. La Intensidad Energética es un término utilizado en economía, y muestra la relación entre la energía consumida y la producción de bienes (Guevara *et al.*, 2013). Por lo tanto, interesa que la intensidad energética sea la menor posible. En nuestro estudio, esta relación se expresa como la energía de entrada (GJ) dividida por los kilogramos de animal vivo, medida también denominada huella energética.

La eficiencia energética proviene de una definición física referente a un proceso o a un dispositivo, y se expresa con la relación entre la energía útil o producida, y la energía empleada (World Energy Council, 2004). En producción ovina, se expresaría como la relación entre la energía de salida producida (carne de cordero), expresada en GJ, y la energía de entrada proveniente de la pradera, maquinaria y productos agroquímicos (GJ). La eficiencia productiva se puede expresar en distintas unidades o resultados (Kg leche/vaca; Kg carne/ha; Kg lana/oveja). Este término involucra la eficiencia del uso de recursos del sistema, es decir, con el mínimo de recursos maximizar la producción (González, 2011).

La eficiencia productiva se diferencia de la eficiencia energética, en que esta última tiene diferentes tipos de fuentes de energía, con distintos énfasis en su uso. En engordas extensivas con uso de energía renovable (proveniente del sol) y baja sofisticación (sin uso de maquinaria o insumos químicos), la eficiencia productiva es mediana a baja (Kg carne/hectárea), pero la eficiencia energética con uso de energía no renovable es alta. En cambio, un predio con producción más intensiva, con más flujos de entrada (electricidad,

maquinaria y fertilizantes) se observa menor eficiencia energética, ya que el aumento de la intensificación productiva disminuye la eficiencia energética (Llanos *et al.*, 2013).

El uso de la energía puede ser maximizado cuando se comprende cómo fluye la energía a través del sistema. La energía proveniente de combustibles fósiles, tales como el petróleo, el carbón y el gas natural, no son renovables y pueden agotarse. Los sistemas industriales y la agricultura tradicional dependen de combustibles fósiles para su producción, además el uso de estos recursos energéticos genera grandes eficiencias productivas, sin embargo, la eficiencia energética del uso de combustibles fósiles es baja. Además no es sostenible a largo plazo. Los informes actuales proyectan una escasez del petróleo y gas, lo que sugiere que la producción agrícola debería adoptar prácticas que conserven más energía, y logren producir de forma ecológicamente sana y sostenible (Pimentel y Pimentel, 1996).

En este estudio se probará un modelo prototipo de estimación de gasto de energía en sistemas de producción de ovinos en la Sexta Región de Chile. La ganadería de la Región de O'Higgins (VI Región) es eminentemente extensiva y rústica (García, 1986), por lo que el uso de energías no renovables es bajo, sin embargo, en la producción semiextensiva puede añadir insumos, como fertilizantes, pesticidas, fungicidas, herbicidas y maquinaria. En el estudio se estimará el gasto energético de los sistemas extensivos y semiextensivo de ovinos en la región, considerando tres tipos de gasto de energía: de Maquinaria y Agroquímicos, de Fitomasa y de Evapotranspiración de los Cultivos. Para la obtención de los mismos tipos (Maquinaria y Agroquímicos, Fitomasa y Evapotranspiración) de intensidades o huellas energéticas.

II) Objetivos.

General.

- Desarrollar un modelo de simulación que estime la intensidad y fuente energética de sistemas extensivos y semi-extensivos de producción de ovinos en la Región de O'Higgins con error menor al 10%.

Específicos.

- Estimar el gasto energético y producción de los sistemas ovinos mediante el uso de dos modelos de simulación conectados: crecimiento de praderas y sistema ovino (ovejas y corderos).
- Proponer una metodología para la estimación de la huella de energía de un kilo de cordero de los sistemas ovinos extensivos y semi-extensivos de la Región de O'Higgins.

III) Antecedentes.

Este estudio aborda la sostenibilidad ambiental de los sistemas agropecuarios desde el punto de vista energético. En la literatura se presenta la temática energética de distintas formas.

Barbell *et al.* (2007) en sus resultados en *Energía Primaria y red de Efecto Invernadero Emisiones de Gases de Biodiesel en Nueva Zelanda*, determinaron la energía de un sistema agropecuario de un productor promedio del sector ovino. La energía considerada en la intensidad energética correspondió a diésel, electricidad, agroquímicos fertilizantes y no fertilizantes, concentrados comprados y la energía atrapada en materiales. Los resultados fueron de 7,45 MJ/Kg de ovino vivo.

Llanos *et al.* (2013) estudian la *Eficiencia Energética en Sistemas Lecheros en Uruguay*, con la finalidad de identificar las distintas variables que influyen en la eficiencia energética. Este estudio midió el consumo de energía fósil, a través de un modelo de entrada y salida. Los autores realizaron una ecuación que incluye como entradas los costos energéticos de alimentación, mano de obra, electricidad, agroquímicos, combustibles y maquinaria. Las salidas corresponden a producción de leche y carne, expresadas en energía. La investigación analizó una base de datos de 30 predios lecheros del sur de Uruguay, divididos en tres tipos de intensidad productiva.

Los resultados obtenidos de uso de energía fósil, de acuerdo a los distintos tipos de intensificación, fueron de 2,4 MJ/L de leche en sistemas de productividad bajo; 3,63 MJ/L en sistemas de productividad medio, y 3,8 MJ/L en sistemas de productividad alta ($P < 0,05$). Esta investigación demuestra que para mayor intensificación, más uso de energía, y menos eficiencia energética, ya que los estratos medio y alto necesitaron más energía para producir un litro de leche. Para los 3 estratos, la energía utilizada proveniente principalmente de agroquímicos y combustible, representa un 80% de energía total. El consumo de concentrado explica la mayor diferencia por un mayor uso de energía fósil de los sistemas

medio y alto ($P < 0,05$), ya que tiene un alto costo de combustibles y agroquímicos (Llanos *et al.* 2013).

Existe consenso en la literatura relacionando a los fertilizantes como la principal fuente del consumo de energía (Pimentel *et al.*, 1973; Bel *et al.*, 1978; Clements *et al.*, 1995, citado de Llanos *et al.* 2013) además los predios con mayor grado de intensificación, es decir, con mayor uso de insumos y mayor productividad, son los que usan más energía fósil, sin embargo, son los menos eficientes en el uso de la energía, lo cual es consistente con los resultados planteados por Llanos *et al.* (2013).

Con respecto a la eficiencia energética, fue mayor en el estrato de baja productividad, respecto al medio y alto ($P < 0,01$), siendo la eficiencia del sistema de baja productividad casi el doble del sistema de alta productividad. El balance energético fue positivo para el estrato de baja productividad, y negativo para el estrato de media y alta. Las diferencias atribuidas en esta investigación corresponden a la energía consumida por litro de leche, que están relacionadas con la dieta de los sistemas, es decir, sistemas con mayor uso de concentrados tienen menor eficiencia energética. La eficiencia energética resultó ser más dependiente del consumo de energía fósil (agroquímicos y combustible) que de la producción de leche (Llanos *et al.*, 2013).

Los resultados generales arrojan una relación inversamente proporcional entre eficiencia energética y consumo de energía fósil. Los sistemas pastoriles al realizar un mayor uso de la energía solar (energía renovable, fotosíntesis), son más eficientes para producir un litro de leche. Los promedios de eficiencia energética fueron 1,40; 0,90 y 0,86 para los mismos estratos ($P < 0,01$) (Llanos *et al.*, 2013).

En otra investigación, Guevara *et al.*, (2013), describen el *Balance energético del sistema local de producción de bovinos de engorde en el municipio de Tecpatán, estado de Chiapas, México*. La metodología consideró los parámetros relacionados con la eficiencia energética: horas de trabajo humano (h/ha), energía consumida (MJ), rendimiento productivo (t/ha), energía producida (MJ/ha), proteína producida (kg/ha), proteína de origen animal producida (kg/ha), personas que alimenta con energía (p/ha), personas que alimenta con proteínas (p/ha), costo energético de la proteína (MJ/kg), productividad energética del

trabajo (h/MJ), productividad proteica del trabajo (h/kg) y balance energético. Se consideraron las entradas y salidas de energía, caracterizadas en flujos de materia física e insumos utilizados para la producción. Se aplicó una metodología de flujos de materia física e insumos para la producción descrita por Funes *et al.* (2009), que consiste en el cálculo de eficiencia energética considerando el área del sistema productivo, tipo y cantidad de alimento, productos obtenidos, gastos energéticos de la producción, directos o indirectos, como fuerza de trabajo humano y animal, combustible, fertilizantes y otros. El enfoque de balance energético no considera los costos ecológicos provenientes de la energía solar, el calor disipado o la energía degradada en el sistema (Guevara *et al.*, 2013).

Esta investigación cuantificó indicadores relativos a la productividad del sistema: cantidad de energía (MJ/ha/año) y proteína producida (kg/ha/año). Además se incluyeron la cantidad de personas que podría sustentar el sistema, de acuerdo con la demanda promedio de proteína y energía de una persona por año.

Tabla 1. Gastos energéticos por labores en dos Unidades Productivas (UP) de terneros de engorda en Tectapán, Chiapas, México.

	Gasto Energético (MJ)			
	UP 1		UP 2	
	Humano	Animal	Humano	Animal
Limpieza	44,68	0	50,24	0
Poda de Cercos Vivos	4,65	0	5,57	0
Cuidado de Alambrados	7,45	0	6,99	0
Acopio	6,28	45,22	13,94	0
Herrado	0,71	0	0	0
Desparasitación	0,92	0	0,25	0
Vacunación	0,46	0	0,46	0
Traslado a la UP	0	0	12,06	0
Sales Minerales	5,15	0	29,31	0
Suministro de Agua	0	0	0,92	0
Baño con Garrapaticidas	6,03	0	6,03	0
Venta	1,84	13,4	2,09	0
Total	78,17	58,62	127,87	0

Fuente: Elaboración propia, modificado de Guevara *et al.* (2013).

Los resultados observados en la **tabla 1** muestran que las labores que más determinan un gasto energético humano en la UP 2, es correspondiente a la limpieza, el acopio o movimiento de animales, el traslado del productor hacia la finca y el suministro de sales minerales, equivalente a 105,5 MJ o 82,5% del total sumado. Las diferencias entre las dos UP se deben a los manejos culturales. El mayor gasto de la UP 2 corresponde al acopio y traslado de animales que se realizó con mano de obra en vez de animales en la UP 1. Además los trabajadores de la UP 1 viven en el predio, en cambio, los de la UP 2 tienen que trasladarse caminando al predio (Guevara *et al.*, 2013).

La eficiencia energética obtenida en este estudio muestra que el rendimiento productivo por hectárea de carne fue superior para la UP 2 (**tabla 2**). Esta diferencia se debe a que la ganancia diaria de peso vivo fue mayor, además de la mayor cantidad de animales por cada UP. La energía total de insumos es menor en la UP 2, lo que resulta en una mayor eficiencia energética en dicho sistema.

Tabla 2. Análisis productivo y energético de dos unidades de productivas.

Indicador	Unidades	UP 1	UP 2
Producción de Carne (45% de rendimiento)	kg	301,5	306
Producción de Energía	MJ	1961,19	1990,5
Total de Energía Directa Consumida	MJ	432,94	398,64
Intensidad Energética	MJ/kg	6,5	6,5
Rendimiento Energético	kg/MJ	0,15	0,15
Eficiencia Energética		4,53	4,99

Fuente: Elaboración propia, extraído de Guevara *et al.* (2013).

Las personas totales alimentadas en energía y proteína en la UP 1 y UP 2 son similares, a pesar de que el rendimiento productivo es superior en UP 2 (**tabla 3**). Se observa que las consideraciones de este estudio no proponen resultados ecológicos, por esto puede explicarse la alta eficiencia energética de los sistemas estudiados, ya que no considera energía fósil u otras energías, sino solo la energía de la mano de obra y animales de trabajo (Guevara *et al.*, 2013).

Tabla 3. Análisis energético y proteico de dos unidades de producción.

Indicador	Unidades	UP 1	UP 2
Horas de Trabajo Humano	hr/ha	74,68	70,04
Rendimiento Productivo	kg/ha	301,05	306
Energía Productiva	MJ/ha	1961,19	1990,5
Proteína Producida	kg/ha	6,5	6,5
Costo Energético por kg proteína	MJ/kg	0,15	0,15
Productividad Energética	h/MJ	4,53	4,99
Productividad Proteica	h/kg	1,2	1,13
Personas que alimentan con energía	energía/ha/año	0,46	0,47
Personas que alimenta con proteína de origen animal	animal/ha/año	6,11	6,12

Fuente: elaboración propia, extraído de Guevara *et al.* (2013).

En otra investigación, Irimia, Escudero y Álvarez (2012) estudiaron *La Eficiencia Energética en las explotaciones de Vacuno Lechero* de 158 explotaciones en Galicia, (Noroeste de España), con la finalidad de estimar el consumo de energía total anual. Las fuentes de energía consideradas son la eléctrica, la gasolina y el butano. La unidad de energía presentada es en kwh/año, kwh/kg y kwh/vaca, para consumo energético por año, por kg de leche producida y por vaca, respectivamente por cada explotación. En cuanto a los usos de la energía, están calculados principalmente en iluminación, sistemas de ordeño, limpieza y alimentación de la explotación. También se determinó el uso de energías alternativas en las explotaciones, como energía solar y eólica.

En la **tabla 4** se observan los resultados totales divididos en tres grupos, media, máximo y mínimo de energía eléctrica. Los valores medios de vacas por explotación son de 51 vacas, y la producción de leche por explotación son 329.703 litros, es decir, 7.546 litros de leche por vaca. Los kwh de energía eléctrica consumidos por vaca y los kwh consumidos por litro y el tamaño de las explotaciones no presenta correlación debido a que la muestra tiene una desviación típica muy grande, pero sí existe alta correlación entre las variables kwh/vaca y kwh/kg de leche altamente correlacionadas entre ellas, con un coeficiente de correlación de 0,5786 (Irimia, Escudero y Álvarez, 2012).

Tabla 4. Resultados de Valores de Energía Eléctrica

Grupos	Tonelada equivalente energía eléctrica (kwh/año)	kwh/vaca	kwh/kg leche
Media	18.296	385,6	0,0562
Máximo	73.365	1.152,3	0,3803
Mínimo	2.446	43,9	0,0059
Des. Típ.	11.506	156,6	0,0357

Fuente: elaboración propia, extraído de Irimia, Escudero y Álvarez (2012).

Las explotaciones utilizan el diesel como combustible para la maquinaria en las labores de alimentación. La media de vacas por explotación es de 51 y la producción media de leche por explotación es de 329.703 litros al año, con un promedio de 7.546 litros de leche por vaca al año.

En el estudio de las 158 explotaciones, 97 tenían instalaciones de gas para el calentamiento de agua, lo cual significa 61,4% del total. Todas usaban gas butano comercial en contenedor de 12,5 kg, mientras que solo dos instalaciones utilizan combustible gaseoso gas propano, lo que representa 1,3% del total, con un uso de contenedores de 35 y 11 kg por contenedor.

Respecto al consumo de energía total de las explotaciones estudiadas, la energía eléctrica corresponde a 61,6% del consumo total, seguida por 17,2 para el gasoil, y por último los combustibles gaseosos, butano y propano, con 11,2%. El consumo medio por vaca y año fue de 641,4 kwh, encontrándose dentro del rango de 464 y 1637 kwh/vaca y año descritos por Campareda *et al.*, (2010, citado de Irimia, Escudero y Álvarez, 2012).

Por último, los gastos energéticos más elevados corresponden a iluminación y ordeño (calentamiento de agua y limpieza). Le sigue la alimentación con un 16%, y por último 1% para la limpieza (Irimia, Escudero y Álvarez, 2012).

Bodas *et al.* (2013) determinaron el *Consumo Eléctrico en Granjas de Ganado Ovino Lechero de Castilla y León, España*. Se realizó una auditoría energética a 35 granjas, en las cuales se recogieron datos de censo predial, producción, maquinaria disponible, consumo de agua, equipos y horario de funcionamiento (ordeño, enfriamiento, bombas de agua, agua caliente, etc.).

En la investigación los resultados promedios obtenidos en las encuestas arrojaron el número de animales en ordeño por predio ($532 \pm 49,5$), con una producción de $856 \pm 98,6$ L/día de leche en $70 \pm 13,1$ ha. En cuanto a las faenas cuentan en promedio con $2 \pm 0,2$ tractores con una edad media de 15 ± 2 años, y que tienen una potencia media de $75,1 \pm 3,2$ kW y una media de $592 \pm 56,6$ horas trabajadas por vehículo al año. Los resultados condicionan el número medio de ovejas en ordeño y la producción media de leche, en relación al tamaño de la explotación ($P < 0,001$), pero no de la raza ($P > 0,1$) (Bodas *et al.*, 2013).

Los resultados arrojaron un consumo medio de electricidad en 2000 kWh al mes, lo que equivale a 50 kWh/oveja en producción por año, y 25 kWh/oveja presente en la explotación. El índice de utilización de la energía en función de la producción de leche corresponde a $0,08 \pm 0,01$ kWh por cada litro de leche producido al día, es decir, unos 84 kWh por cada 1000 L de leche producida. Este valor es superior al reportado por Bartolomé *et al.*, (2013) en auditorías de consumo de electricidad en granjas (51kWh/1000 L de leche) (Bodas *et al.*, 2013).

El gasto de electricidad por cada litro producido al día es significativamente mayor ($P < 0,05$) en las explotaciones más pequeñas (0,026 euros/L, \$20 pesos chilenos/L) que en las medianas y las grandes (0,012 y 0,014 euros/L, \$9,24 y \$10,78 pesos chilenos/L, respectivamente). El valor medio es de 0,016 euros/L, o bien, \$12,32 pesos chilenos/L. Por esta razón es importante señalar que las explotaciones pequeñas el consumo de electricidad respecto la leche, es mucho mayor (Bodas *et al.*, 2013).

Respecto al gasto energético por labor, el ordeño consume más del 40 % del gasto eléctrico diario (bomba de vacío + bomba de leche = 34kWh/día). El resto se destina fundamentalmente al enfriamiento de la leche (30%, del consumo energético diario), el calentamiento de agua (12% del consumo), el resto al manejo de la alimentación, del

estiércol y la iluminación. Por esto, la implementaciones de medidas de ahorro, como variantes energéticas y sistemas de enfriamiento e iluminación, permitirían reducir costos energéticos de la producción de leche (Bodas *et al.*, 2013).

Valdés *et al.* (2009) estudiaron *El Funcionamiento y Balance Energético en Agro Ecosistemas Diversos*. Se realizaron inventarios en 20 predios de productores independientes en San Andrés de Caiguanabo, Colombia. Para obtener los datos se entrevistaron a los productores, y se recogieron los datos de insumos adquiridos y utilizados durante el año:

- Fertilizantes químicos.
- Productos químicos para control de plagas.
- Combustibles y lubricantes.
- Concentrados para la alimentación animal.

Además se les preguntó acerca de las horas de trabajo humano y animal, así como empleo de maquinarias. También se agruparon las fincas de acuerdo al tipo de producción: vegetales, granos, lácteos, carnes y huevos, y otras producciones. Con la ayuda del *Software Energía*, que contiene tablas de equivalencias energéticas y nutricionales, se realizó el registro de los datos y su posterior procesamiento.

El resultado de la investigación arroja los siguientes datos: energía consumida, energía producida, producción de proteínas de origen vegetal y animal, personas que alimenta la finca de acuerdo a la producción, de proteínas de origen vegetal, animal y la suma de ambas producciones.

En cuanto a los indicadores de energía se usan los de producción de energía en Mcal/ha y de proteína en Kg/ha. Como se aprecia en la **Figura 1**, existen evidencias que los suelos muy profundos y de buena calidad para los cultivos presentan una relación de energía-proteína muy buena, como es el caso del predio César Sánchez. Después le sigue el predio de Agustín Pimentel que presentan suelos de baja calidad, pero que mantiene una adecuada rotación de cultivos durante todo el año y están ocupados la mayor parte del tiempo (Valdés *et al.*, 2009).

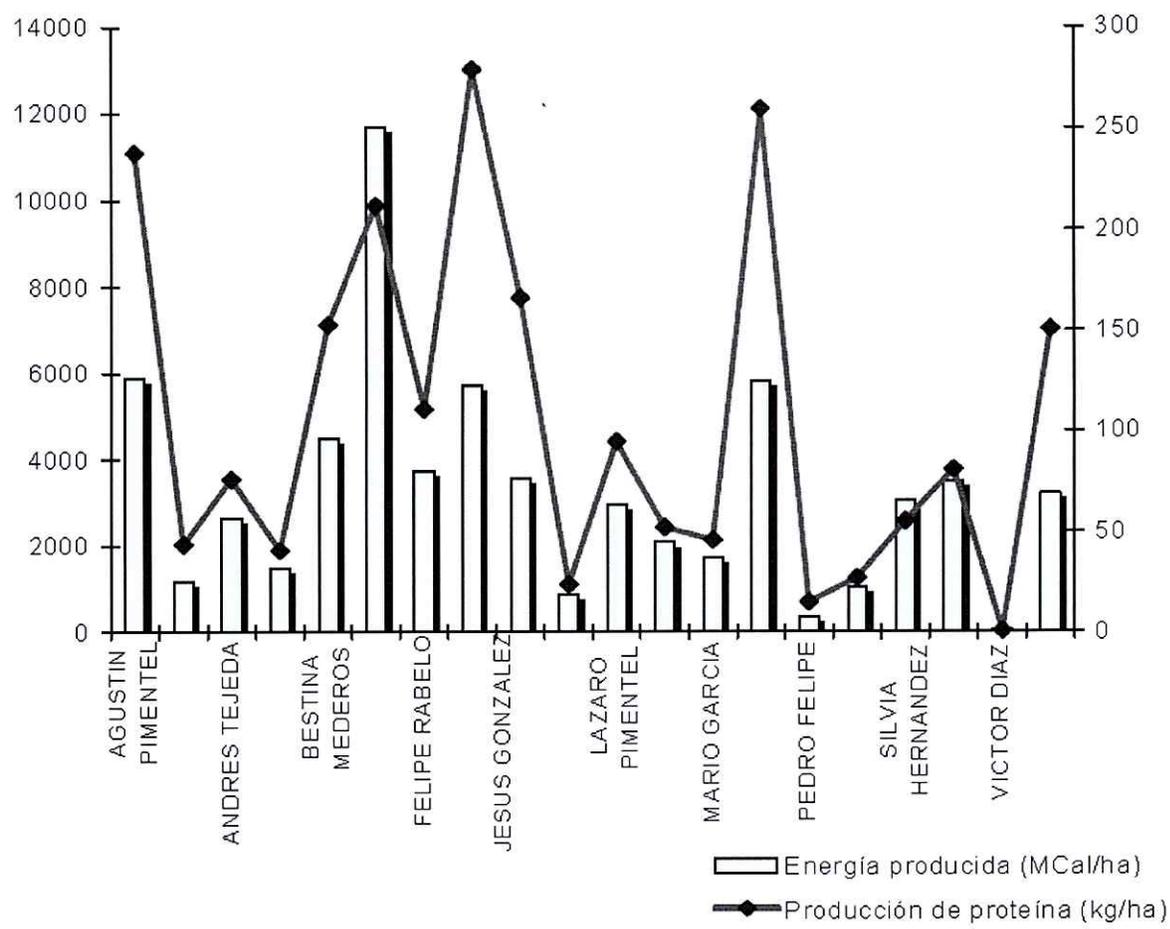


Figura 1. Producción de energía y proteínas de los predios estudiados (Valdés *et al.*, 2009).

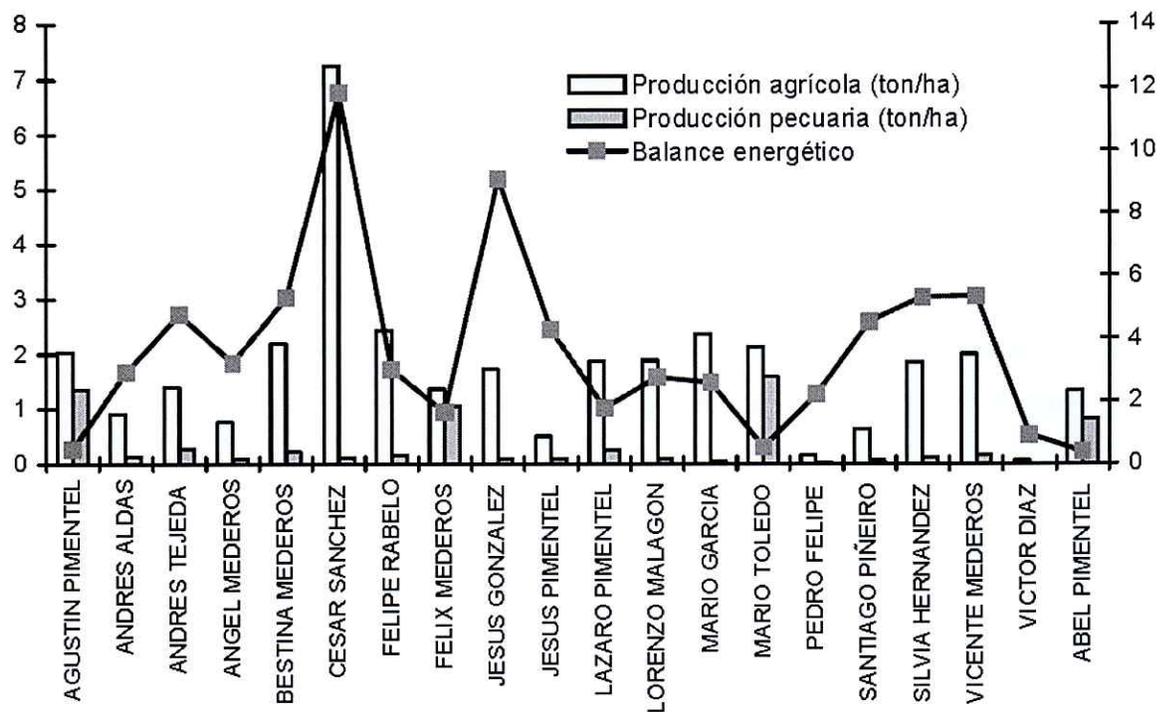


Figura 2. Producción agrícola, pecuaria y el balance energético de los predios (Valdés *et al.*, 2009).

En la **Figura 2** la producción pecuaria tiene menos relevancia que la producción agrícola. Además se observa que la participación de estos dos productos en niveles similares dentro de un predio, generan balances energéticos menores que por sí solos. Esto se explica porque se obtienen ecosistemas con más biodiversidad, por ende, más productivos, sinérgicos y sustentables con el medio ambiente. Esta situación se aprecia en los predios de Agustín Pimentel, Félix Mederos, Mario Toledo y Abel Pimentel. La excepción ocurre en el predio de César Sánchez, debido a la eficiencia de las labores en suelos de buena profundidad y calidad (Valdés *et al.*, 2009).

Esta investigación entrega diversas conclusiones respecto a los sistemas de producción estudiados:

- La suma energética depende de la producción animal, ya que necesitan insumos externos para complementar el ecosistema.

- La producción agrícola no influyen en el funcionamiento energético, ya que tienen poca entrada de insumos externos de alto nivel energético.
- Los niveles similares de producción agrícola y ganadera generan eficiencia energética, debido al uso de rastrojos agrícolas en alimentación animal, y de la sinergia que puede existir entre estas dos producciones.
- En relación con los requerimientos generales, la cantidad de personas que alimenta un predio, dependen de la producción animal, por lo que la eficiencia energética animal determina en gran parte la sustentabilidad de un sistema (Valdés *et al.*, 2009).

IV) Metodología de estimación de Energía.

Elaboración del Modelo.

El objetivo del estudio es caracterizar y cuantificar la intensidad energética de la producción ovina en la Región de O'Higgins. Para obtener este resultado se procedió al desglose de los factores que intervienen en la sumatoria de la energía. La ganadería en esta zona de producción se caracteriza por ser extensiva y ocupar el territorio donde la producción de ganado bovino se ve dificultada (García, 1986, citado de Toro-Mujica *et.al.*, 2013), por esto, el flujo energético depende de gran medida de las condiciones climáticas y de la morfo-fisiología de la pradera.

El modelo está compuesto por dos sub modelos o módulos. El primer módulo involucra el cálculo del balance hídrico en una pradera anual en condiciones de secano en la Región de O'Higgins (Castellaro y Squella, 2006). Este módulo incluye el costo energético de fertilizantes, fungicidas, herbicidas, insecticidas, maquinarias y semillas de los otros cultivos.

Para estimar el balance hídrico se calculó radiación y evapotranspiración, con los datos de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitaciones totales mensuales y humedad relativa.

El segundo módulo del modelo comprende el componente animal, y permite determinar los kilogramos (kg) de animal producido a través de la estimación del peso vivo de corderos y ovejas al final del ciclo productivo.

La fusión de ambos módulos permite la obtención de un cociente entre los flujos de energía de entrada en GJ, y producción en Kg de carne de salida del sistema, como un indicador de sustentabilidad ambiental o también llamado Sistema de Contabilidad de Energía Entrada/Salida (Googlass, Halberg y Verschuur, 2001).

Para efecto de aplicación y comparación de sistemas productivos de ovinos, se utilizó la *Tipología de Sistemas de Producción Ovinos en la Región de O'Higgins* descrita por Toro-Mujica, Aguilar y Vera (2013), que clasifica en 3 grupos de productores ovinos, según la

especificidad de la producción, y tamaño de rebaño (tipología que analizó cifras obtenidas del Censo Agropecuario 1997-2007).

Para los datos climáticos se utilizó como fuente la información del Anuario Agrometeorológico de la Dirección Meteorológica de Chile. Se usó la información de las estaciones meteorológicas de la Región de O'Higgins correspondiente a las siguientes estaciones: Colchagua, Hidango, La Rosa y Marchigüe.

Módulo Pradera

En un sistema ganadero existen diferentes fuentes de energía: solar, fitomasa, petróleo, fertilizantes, maquinaria, pesticidas y herbicidas. La fuente primaria y la más importante es la energía proveniente del sol (González, 2009). Para los propósitos del estudio se consideró la energía necesaria para la evapotranspiración (Moguel-Ordóñez, *et al.*, 2001). Dentro de la clasificación de fuentes de energías renovables se encuentra la energía solar que se transforma en Energía de Evapotranspiración y la fitomasa. En las energías no renovables se encuentra la energía proveniente del petróleo (González, 2009) que se relaciona con la utilización de fertilizantes, maquinaria, pesticidas y herbicidas. En este estudio se describirán las principales fuentes de energía participantes en el sistema, relacionadas a sus insumos agronómicos (Maquinaria, fertilizantes, etc.) y agroecológicos (fitomasa y solar).

Energía Solar.

Radiación.

Los datos agroclimáticos de las estaciones meteorológicas en estudio no incluyen valores de radiación, por lo tanto, la energía proveniente del sol fue estimada de acuerdo a las ecuaciones propuestas por FAO (2008).

Radiación extraterrestre (R_a).

Es una constante que tiene un valor aproximado de 0,082 MJ/m²/minuto, cuando los rayos solares tocan perpendicularmente la atmósfera terrestre. La intensidad de la radiación depende por el ángulo entre la dirección de los rayos solares y la superficie de la atmósfera. Este ángulo además varía durante el día y es diferente en cada latitud y en diversas épocas del año (FAO, 2008).

Radiación Solar o de onda corta (R_s).

Cuando la radiación atraviesa la atmósfera para llegar a la superficie terrestre, parte de ella se dispersa, refleja o absorbe por los gases, las nubes y el polvo atmosférico. La cantidad de radiación que llega a un plano horizontal en la superficie terrestre es llamado: radiación solar (R_s). Las ondas electromagnéticas que emite el sol, se caracterizan por ser de onda corta, por esto la radiación solar es conocida también como radiación de onda corta. Se presume que en un día despejado 75% de la radiación extraterrestre corresponde a R_s . En cambio, en días nublados este valor disminuye, debido a que la radiación se dispersa en la atmósfera (FAO, 2008).

Albedo (α) y Radiación Solar Neta (R_n).

Albedo es la fracción solar que es reflejada por la superficie. Es un porcentaje variable de acuerdo al tipo de superficie al ángulo de incidencia o la pendiente de la superficie terrestre. Los rangos varían desde 0,95, para la nieve recientemente caída, y tan bajo como 0,05 para un suelo desnudo y húmedo. Para cubiertas de vegetación verde se usan albedos de 0,2 a

0,25. En esta investigación se considera un albedo de 0,24 para una pradera anual de secano en la Región de O'Higgins (Castellaro y Squella, 2006).

La radiación neta solar es la fracción de la radiación solar R_s que no se refleja en la superficie, y su valor es $(1-\alpha)$.

Radiación neta de onda larga (Rnl).

La radiación solar que absorbe la tierra, se convierte en energía térmica. Esta energía se pierde por radiación, convección y conducción. La tierra al poseer una temperatura más baja que el sol emite esa energía radiante con longitudes de onda más largas que el sol. Esta radiación de onda larga emitida por el planeta es absorbida por la atmósfera o perdida hacia el espacio. Esta radiación de onda larga que queda en la atmósfera aumenta su temperatura. Por lo que la atmósfera también irradia calor a la tierra (FAO, 2008).

La diferencia entre la radiación de onda larga de entrada y salida se llama radiación neta de onda larga, Rnl. Casi siempre representa una pérdida de energía, porque la energía que sale es menor a la que entra (FAO, 2008).

Radiación Solar Neta (Rn).

La Radiación Neta es la diferencia entre la radiación entrante y saliente de longitudes de onda corta y larga. Es el equilibrio entre la energía absorbida, reflejada y emitida por la superficie terrestre o la diferencia de la radiación de onda corta entrante neta (R_{ns}) y la radiación de onda larga saliente neta (Rnl) (FAO, 2008).

Procedimiento de Cálculo.

Para obtener Rn, primero debemos obtener R_a . Se consigue con la siguiente ecuación

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)]$$

Donde

Ra radiación extraterrestre [MJ m²/día]

Gsc constante solar = 0,082 MJ m²/min

dr distancia relativa inversa Tierra-Sol:

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right)$$

Donde

J es el día número del día en el año entre 1 (1 de Enero) 365 (31 de Diciembre).

Ws ángulo de radiación a la puesta del sol [rad]:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi)\tan(\delta)}{X^{0,5}}\right]$$

Donde

$$X = 1 - [\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2$$

$$\text{y } X = 0,00001 \text{ si } X \leq 0$$

φ latitud [rad]:

$$[\text{radianes}] = \frac{\pi}{180} [\text{grados decimales}]$$

δ declinación solar [rad]:

$$\delta = 0,409 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right)$$

Luego de obtener R_a se procede a calcular R_{so} , con la siguiente ecuación:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a$$

Donde Z corresponde a la elevación sobre el nivel del mar.

Para obtener R_s se pudo estimar a partir de las temperaturas mínimas y máximas, que se recopilaron de las estaciones meteorológicas estudiadas. La ecuación que la define es la siguiente:

$$R_s = k_{Rs} \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} R_a$$

Donde

R_a = Radiación extraterrestre [$\text{MJ m}^2 / \text{día}$]

T_{\max} = Temperatura máxima del aire [$^{\circ}\text{C}$]

T_{\min} = Temperatura mínima del aire [$^{\circ}\text{C}$]

k_{Rs} = Coeficiente de ajuste (adopta rangos desde 0,16 a 0,19). Para para localidades costeras, con influencia marina toma el valor de 0,19.

Para obtener la radiación neta de onda corta (R_{ns}) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}), se usan las siguientes fórmulas:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$$

Donde

R_{ns} =radiación neta solar o de onda corta [$\text{MJ m}^2 / \text{día}$]

α = albedo o coeficiente de reflexión del cultivo (0,24)

R_s = radiación solar entrante [$MJ\ m^2 /día$].

Para calcular la radiación de onda larga:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \left(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

R_{nl} = Radiación neta de onda larga [$MJ/m^2/día$].

σ = constante de Stefan-Boltzmann [$4,903 \times 10^{-9}\ MJ\ K^4/m^2/día$].

$T_{max,k}$ = temperatura máxima absoluta durante un periodo de 24 horas [$K = °C + 273,16$],

$T_{min,k}$ = temperatura mínima absoluta durante un periodo de 24 horas [$K = °C + 273,16$],

e_a = presión de vapor real [kPa],

R_s/R_{so} = radiación relativa de onda corta (valores $\leq 1,0$),

R_s = radiación solar medida o calculada [$MJ/m^2/día$].

R_{so} = radiación en un día despejado [$MJ/m^2/día$].

Por último, para obtener la radiación neta (R_n) obtiene la diferencia entre la radiación neta de onda corta (R_{ns}) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Evapotranspiración.

Evaporación.

Para calcular la energía de evapotranspiración primero debemos definir evaporación y transpiración separadamente. La FAO (2008) describe evaporación como el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante. La superficie evaporante en estudio en este caso, corresponde a la superficie de la pradera. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. Esta energía es proporcionada por la radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire (FAO, 2008).

Transpiración.

El proceso de transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior liberación hacia la atmósfera. La pérdida de agua en los cultivos ocurre principalmente a través de los estomas. Casi la totalidad del agua absorbida del suelo se pierde por transpiración, y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. La transpiración depende de la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento (FAO, 2008).

Evapotranspiración.

Los procesos descritos anteriormente ocurren de forma simultánea, y no hay una forma clara ni sencilla de distinguir entre estos dos procesos. La evapotranspiración es determinada por la disponibilidad de agua y por la radiación (FAO, 2008).

Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o).

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia se calcula sin restricciones de agua, y se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) (FAO, 2008). Este concepto está referido a la superficie de referencia de un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Los únicos factores que afectan ET_o son los parámetros

climáticos, por lo que la estimación se realizó a partir de los datos recolectados de la Región de O'Higgins.

Evapotranspiración del Cultivo bajo condiciones estándar (ETc).

Es la Evapotranspiración de cualquier cultivo exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en condiciones óptimas de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona de producción. Es la cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo (FAO, 2008).

Procedimiento de cálculo.

Para calcular los conceptos anteriormente vistos, se usa el método reconocido internacionalmente proveniente de la FAO y Penman-Monteith (FAO, 2008). Este método fue seleccionado, ya que tiene bases físicas sólidas e incorpora parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, existen procedimientos análogos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes.

La evapotranspiración de referencia (ET_o) se calcula con la siguiente ecuación:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde

ET_o= evapotranspiración de referencia (mm/día)

R_n= radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día)

R_a= radiación extraterrestre (mm/día)

G= flujo del calor de suelo (MJ/m²/día)

$$G_{mes,i} = 0,07 (T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1})$$

T= temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u₂= velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)

e_s= presión de vapor de saturación (kPa)

$$e_s = \frac{e^\circ(T_{max}) + e^\circ(T_{min})}{2}$$

e_a= presión real de vapor (kPa)

$$e_a = e^\circ(T_{hr}) \frac{HR_{hr}}{100}$$

Donde

e_a= presión real de vapor (kPa)

e[°](T_{hr})= presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T_{hr} [kPa]

$$e^\circ(T) = 0,6108 * \exp\left[\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right]$$

HR_{hr}= promedio horario de la humedad relativa [%].

e_s - e_a= déficit de presión de vapor (kPa)

Y= constante psicrométrica (kPa /°C)

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0,665 * 10^{-3}$$

Donde

Y= constante psicrométrica [kPa /°C]

P= presión atmosférica [kPa],

λ= calor latente de vaporización, 2,45 [MJ/kg],

C_p= calor específico a presión constante, 1,013 x 10⁻³ [MJ/kg/°C],

ε= cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco = 0,622.

Δ= pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2}$$

Donde

Δ= pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T [kPa /°C]

T= temperatura del aire [°C]

exp[.]= 2,7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia [..]

Para obtener ET_c se multiplica K_c por ET_o.

$$ET_c = K_c ET_o$$

Donde

Kc= es el coeficiente de cultivo.

Al primer mes Kc inicial se le dio un valor de 0,15, ya que la cobertura vegetal es escasa. El Kc a mediados y finales de crecimiento se le dio un valor de 0,75 (FAO, 2008).

ETc Ajustado Bajo Condiciones de Estrés Hídrico.

En suelos secos la energía potencial del agua es baja, ya que queda retenida fuertemente por las fuerzas capilares y de adsorción a la matriz del suelo, lo que la hace menos disponible por las raíces del cultivo. Cuando la energía potencial del agua del suelo cae por debajo de cierto valor umbral, se dice que el cultivo se encuentra estresado. Para ajustar ETc se multiplica por Ks:

$$ET_{c\ aj} = K_s K_c ET_o$$

Coficiente de Estrés Hídrico (Ks).

El contenido de humedad en la zona radicular se expresa en función del agotamiento de humedad en la zona radicular (Dr), es decir, la cantidad de agua que falta con respecto a la capacidad de campo. En capacidad de campo Dr= 0. Se iniciará estrés cuando el valor de Dr sea igual al agua fácilmente aprovechable (AFA). Después de que el agotamiento en la zona radicular exceda a AFA (o sea, el contenido de agua es menor al valor umbral), el agotamiento del agua será lo suficientemente alto como para limitar la evapotranspiración a valores menores que su potencial, por lo que la evapotranspiración del cultivo comenzará a disminuir en proporción a la cantidad de agua remanente en la zona radicular (FAO, 2008).

$$K_s = \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA} = \frac{ADT - D_r}{(1-p) ADT}$$

Donde

Ks= es un factor adimensional de reducción de la transpiración que depende de la cantidad de agua disponible en el suelo [0 - 1].

Dr= agotamiento de humedad en la zona radicular [mm].

ADT= agua disponible total en la zona radicular del suelo [mm],

p= fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico (reducción de la ET) [0,6, valor definido para praderas en pastoreo extensivo] (FAO, 2008).

$$AFA = p \text{ ADT}$$

Donde

AFA= agua fácilmente aprovechable (extraíble) de la zona radicular del suelo [mm].

$$ADT = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_r$$

Donde

θ_{FC} = contenido de humedad a capacidad de campo [m^3/m^3],

θ_{WP} = contenido de humedad en el punto de marchitez permanente [m^3/m^3],

Zr= profundidad de las raíces [m].

Energía de Evapotranspiración.

Esta energía es calculada en relación a la evapotranspiración de referencia ajustada por Ks (ETo*Kc*Ks), el factor de Cobertura (COB) y un índice de conversión (Calor Latente de Vaporización, L) dependiente de la temperatura media. El calor latente expresa la energía

requerida para cambiar una masa de unidad de agua líquida a vapor de agua bajo presión y temperatura constantes. El valor del calor latente de vaporización varía en función de la temperatura, con una relación inversa, es decir, cuanto más elevada sea la temperatura, menos energía será requerida (FAO, 2008 y Moguel-Ordoñez, 2001). En el cálculo de L se usó una fórmula del método de balance de energía de Bowen:

$$L = 595.9 - 0.55T, \text{ con } T \text{ en } ^\circ\text{C}$$

Las unidades de L corresponden a cal/gramo.

Energía Fitomasa.

La energía acumulada de una pradera de secano bajo las condiciones climáticas de la Región de O'Higgins, se estima por medio de la adaptación del Modelo Simple de Simulación para la Estimación del Crecimiento, Fenología y Balance Hídrico de Praderas Anuales de Clima Mediterráneo desarrollado por Castellaro y Squella (2006). Este modelo consta de dos niveles de organización: los parámetros climáticos que alimentan el modelo, y los aspectos biofísicos.

La energía de la fitomasa define la cantidad de energía total de la pradera en un momento determinado. La estimación de la energía almacenada en la pradera fue obtenida semanalmente a través de la disponibilidad de materia seca simulada con el modelo. En los otros cultivos se estimó la cantidad de materia seca producida en el momento de la cosecha. Para el maíz se consideró un rendimiento de 14 toneladas de M.S. (Fundación Chile, 2011), en trigo de 7 toneladas de M.S. (Fundación Chile, 2011), en avena de 6 toneladas de M.S. (Squella, 2007). Para la obtención de la energía se multiplica la cantidad de materia seca de la pradera por su concentración de energía (18,4 MJ/Kg).

Energía Maquinaria.

Para calcular la energía de maquinaria que se utiliza en las operaciones agrícolas, se usan tablas de resultados estimados de Hetz y Barrios (1997) que calculan el *Costo Energético de las Operaciones Agrícolas Mecanizadas* más Comunes en Chile.

Esta investigación entrega resultados en costos energéticos horarios (MJ/hr), por área trabajada (MJ/ha) y por masa procesada (MJ/T). Sin embargo, en el modelo desarrollado solo se incluyen resultados de costos energéticos por área trabajada (MJ/ha).

Los resultados obtenidos por Hetz y Barrios (1997) consideran la energía secuestrada de los materiales de construcción de las máquinas, su fabricación, transporte, combustible, lubricantes, filtros, reparación, mantenimiento, y de la mano de obra necesaria para operarlas; usando la capacidad de trabajo se llegó a los valores por área trabajada.

Relacionando esta energía total utilizada con la capacidad de trabajo se llegó a los valores por área trabajada. Así, en primer lugar se estableció la potencia necesaria para lograr una buena correspondencia con el tamaño de la máquina. Luego se utilizó la metodología para establecer el costo energético de ejecución de la operación, propuesta por Bridges y Smith (1979).

Por último, estos costos energéticos expresados en MJ/hr fueron transformados a MJ/ha, utilizando la Capacidad Efectiva de Trabajo de las máquinas. Los valores utilizados en este estudio se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados en MJ/ha de faenas distintos tipos de Maquinarias Agrícolas

Tipo de Maquinaria	MJ/ha
Arado de Vertedera MJ/ha	1771
Arado de Disco	1168
Arado Cincel	843,5
Arado Rotativo	1055
Rastras de Discos Tándem	307
Rastras de discos Off-Set	466
Rastras de Clavos y Rodillos Combinadas	215
Vibrocultivadores	258
Rodillos Compactadores	148
Niveladora de Microrelieve	664
Sembradora	290
Sembradora Cero Labranza	784
Segadora	300
Acondicionador	256
Rastrillo Hilerador	132
Enfardadora	1263
Cosechadora de Forraje	3669
Cosechadora de Grano	1810

Fuente: Elaboración propia, modificado de Hetz y Barrios, (1996)

Energía Fertilizantes.

A continuación se presenta un cuadro resumen (Tabla 6) de la energía estimada de distintos autores de algunos de los fertilizantes más usados en la agricultura.

Tabla 6. Resultados en MJ/Kg de distintos fertilizantes comercializados en el mercado.

Fertilizante	MJ/Kg	Autor
N orgánico	4	
P orgánico	4,01	
K orgánico	4,02	Coble y LePori, 1974.
Mg orgánico	4,03	
Ca orgánico	4,04	
Nitrógeno (fórmula comp.)	76,12	Hoelt y Siemens, 1980.
Nitrógeno (úrea)	68,9	Bhat <i>et al.</i> 1999.
P ₂ O ₅	15,13	Patyk, 1996; Audsley, 1997.
K ₂ O	9,3	Patyk, 1996; Audsley, 1998.
Mg (inorgánico)	9	Szott, 1998.
Glifosato (IA41%)	455	Green, 1987.
2,4-D (IA80%)	86	
Mancozeb (IA80%)	99,5	Green, 1978.
Amonio Nitrato (35-0-0)	58,25	
Mono Amonio Fosfato (11-52-0)	5,375	IFA, 1998.
Triple Súper Fosfato (0-48-0)	8,75	
CaO	2,8	Puntí, 1982
Cama Broiler	12,6	Carpintero y Naredo, 2007

Fuente: Elaboración propia, modificado de Mora-Delgado, Ramírez y Quiroz, (2006) y Llanos *et al.*, (2013).

La Asociación Internacional de la Industria de la Fertilización (IFA, 1998) propone un modelo simplificado de cálculo de la energía, que utiliza como fuente de producción el amoníaco en 80% de la producción mundial de agroquímicos, en compuestos como Amonio Nitrato, Mono Amonio Fosfato y Triple Súper Fosfato. En este modelo se incluye solo la energía de los compuestos fósiles (Llanos *et al.*, 2013), por lo que se ajustó para llegar a la energía total se le añade el 20% de energía faltante.

Energía Semillas.

En la Tabla 7 se entregan los costos energéticos de las semillas. Dentro de estos cálculos se incluye la limpieza y envasado de la semilla, consistente en un 50, 20 y 30% mezcla de fuel-oil, gas natural y electricidad, respectivamente.

Tabla 7. Costo Energético Semillas

Tipo	Costo Energético MJ/Kg
Semilla Trigo	6,6
Semilla Maíz	53,3
Semilla Ballica	27,4
Semilla Trébol Rosado	87

Fuente: West y Marland, (2002)

Módulo Ovino.

El segundo submodelo de esta investigación, representa el sistema de producción ovina. Para representar este sistema de producción ganadera de la Región de O'Higgins en condiciones de secano, fue necesario simular dos tipos de animales: oveja y cordero. Los resultados en esta etapa son expresados en kilogramos totales e incluye la suma de los dos tipos. En ambos casos la simulación se realizó dividiendo los días del año en 7 días (una semana), y calculando los siguientes ítems: consumo (forraje y concentrado), ganancia de peso, gestación, lactancia y regulación de temperatura, según el modelo desarrollado por Toro (2005) sobre el Análisis Productivo y Económico de los Sistemas Ovinos del Secano de la VI Región: Modelo de simulación. En dicho modelo, para la obtención de consumo es necesario conocer la disponibilidad de forraje (kg MS/ha) de la pradera, siendo esta variable junto con la tasa de crecimiento diaria promedio por mes el enlace con el modelo de crecimiento de la pradera. Entre las variables de ingreso requeridas por el modelo se encuentran el número de ovejas, la superficie de pastoreo, el peso inicial del animal (kg), la edad inicial promedio (años), temperatura y velocidad del viento, digestibilidad (%), y tasa de crecimiento (kg/MS/ha) de la pradera.

Métodos de Cálculo de Intensidad Energética

Energía proporcional al consumo.

Para calcular el consumo de oveja más cordero, se ingresaron datos en el Modelo Cordero de número de ovejas y corderos y las hectáreas de pradera natural más pradera mejorada que se programaron para el pastoreo, lo que arroja el resultado por día de consumo en kg de M.S. (kilogramos de materia seca). La suma de esa cantidad de materia seca hasta la fecha de término de la simulación, corresponde a la cantidad consumida de los animales. En la pradera mejorada gastos de energía de maquinaria, agroquímicos y semillas se consideraron proporcionales al consumo de materia seca, el que se estimó en un 80% de la MS total producida. El gasto de energía de evapotranspiración fue obtenido en forma proporcional al consumo. En las energías de los otros cultivos, que fueron utilizados como rastrojos (calculados a través del rendimiento estimado e índice de cosecha) se considera que los animales consumieron su totalidad con una eficiencia de pastoreo del 40%.

Energía total.

Este cálculo incluye la energía de materia seca y evapotranspiración total de la pradera, de modo que la intensidad energética es altamente dependiente de la carga animal. En los otros cultivos, utilizados como rastrojos, se incluye toda la energía de maquinaria, fertilizantes y semillas; fitomasa y evapotranspiración, obtenida en relación al índice de cosecha.

Tipología de Grupos Estudiados.

A continuación se presentan los resultados de la investigación de acuerdo a la *Tipología de Ovinos en la Región de O'Higgins* de Toro-Mujica *et al.* (2013). El estudio establece una tipología de predios de ovinos en base a los datos recopilados desde los Censos Agropecuarios de los años 1997 y 2007 (INE, 1997, 2007). A partir de los datos censales se obtuvieron variables cuantitativas y cualitativas de caracterización. Para establecer la tipología el autor realizó un análisis multivariado (componentes principales y de conglomerados), que entregó la solución de tres grupos. Los resultados de la tipología originaron un total de 352 explotaciones para el año 1997 y de 395 explotaciones en 2007. Explotaciones menores a 5 UA no fueron incluidas por no poseer fines comerciales.

Toro-Mujica *et al.* (2013) señalan que la baja carga animal, sumada a los altos porcentajes de la superficie dedicada a pradera natural y a los bajos porcentajes de la superficie dedicada a la producción de forrajes complementarios (pradera mejorada, forrajeras anuales y forrajeras perennes), evidencia la permanencia del carácter extensivo de la producción ovina en la región. Por otro lado, las variables sociales, que muestran un alto porcentaje de tierra en propiedad, productores de elevada edad y escasa utilización de mano de obra tanto permanente como total, concuerdan con el carácter predominantemente extensivo.

Los grupos identificados presentaron diferencias significativas en la mayoría de las variables estudiadas ($p \leq 0,05$), excepto en la superficie de las praderas mejoradas. Los parámetros usados en nuestra investigación para caracterizar los predios ganaderos ovinos de la Región de O'Higgins, aparecen en la **Tabla 8**. Sin embargo, sobre estos valores se realizó un ajuste en los datos para efectos prácticos, al agrupar las hectáreas de superficie de los cereales y los cultivos forrajeros anuales.

Tabla 8. Valores medios y nivel de significación de variables cuantitativas

Variables dimensionales	Grupos			p
	I	II	III	
Número de explotaciones	319	66	10	--
Superficie de la explotación (ha)	137.3±345.2a	100.6±87.8 ^a	1281.6±1715b	0.01
Ovinos (UA)	24,4±49.2a	15,7±13.2 ^a	165,9±199.2b	0.01
Bovinos (UA)	1,1±3.9 ^a	9,4±7.1b	78,2±105.3c	0.01
Unidades animales totales	28,3±53.0a	28.6±20.8 ^a	249.0±288.4b	0.01
Superficie de cereales (ha)	1.8±6.7 ^a	4,3±6.3 ^a	19,2±39.4b	0.01
Superficie de maíz (ha)	0,1±0.7 ^a	0,5±1.6 ^a	16,7±38.9b	0.01
Superficie de trigo (ha)	1.5±6.6 ^a	3.6±6.2b	2,5±5.4ab	0.05
Superficie pradera natural (ha)	102,5±308.3a	64.4±73.7b	604.1±1097.3ab	0.01
Superficie pradera mejorada (ha)	1.8±22.2	0.4±3.0	1.7±5.4	0.88
Superficie forrajeras anuales (ha)	0.7±3.0a	1.0±1.6 ^a	85.5±237.3b	0.01

Fuente: Modificado de Toro-Mujica *et al.* (2013).

V) Resultados.

Módulo Pradera y Cultivos.

Energía Solar.

Con los datos agroclimáticos de la Estación Marchigüe, del año 2002, en la Tabla 9 se presentan los resultados de Radiación Neta (Rn), Radiación Solar Global (RSG), energía solar recibida por la pradera y energía solar corregida por cobertura (COB) de la pradera natural obtenidos a través del desarrollo del modelo Squella y Castellaro (2006).

Tabla 9. Resultados de Energía Solar.

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RSG (MJ/m ² /d)	30,1	30,4	29,7	27	22,2	18,8	20	22,1	24,9	26,9	29,1	29,3
Rn (MJ/m ² /d)	17,7	18,5	18,0	15,2	12,4	11,1	11,9	11,9	14,1	14,9	16,2	16,6
Energía Solar (MJ/ha/día)	177.403	184.853	179.555	152.251	124.138	111.146	119.299	118.976	140.925	148.887	162.212	165.651
Cobertura (COB)	0,9	0,8	0,8	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
Rn Pradera Día: COB*MJ/ha/día	160.084	154.383	139.514	112.797	32.463	29.609	33.024	37.170	53.191	72.381	104.594	127.500
Rn Pradera Mes: COB*MJ/ha/mes	4.802.508	4.631.501	4.185.417	3.383.920	973.885	888.276	990.710	1.115.094	1.595.741	2.171.424	3.137.827	3.824.986

En la Tabla 10 se presentan los resultados calculados de Energía de Fitomasa (MJ/ha) y Energía de Evapotranspiración (MJ/ha) para pradera natural, y los otros cultivos.

Tabla 10. Resultados de Energía de Fitomasa y Evapotranspiración (MJ/ha).

	Fitomasa	Evapotranspiración
	MJ/ha	MJ/ha
Pradera Natural	17.500	5.500.000
Pradera Mejorada	21.000	6.600.000
Rastrojo Maíz	250.000	15.000.000
Rastrojo Trigo	128.800	14.000.000
Rastrojo Avena	110.457	8.300.000

Energía de Maquinaria.

Se estima la energía de la maquinaria solo para la pradera mejorada y los otros cultivos: maíz, avena y trigo. La maquinaria que se estima en una pradera mejorada en la Región de O'Higgins corresponde a una sembradora y fertilizadora para tractor al voleo (Squella, 2007). En el cultivo de maíz se estima el uso de las siguientes maquinarias: arado vertedera, arado cincel, arado rotativo, rastras de disco off-set, vibrocultivadores, rodillos compactadores, niveladora de microrelieve, sembradora y cosechadora de forraje (Fundación Chile, 2011). En la avena o cereales se estimó el uso de: Sembradora cero labranza o en labranza tradicional, arado de cincel, rastras de discos, rodillos compactadores, niveladora de micro-relieve y sembradora (Squella, 2007). En el cultivo de trigo se estimó el uso de: arado de discos, rastras de discos tándem, sembradora y cosechadora grano (Fundación Chile, 2011). Los costos energéticos de maquinaria se establecieron en el mes de Mayo en el trigo, los cultivos anuales y de la pradera mejorada. En el maíz el uso de maquinaria se fijó en el mes de Noviembre.

A continuación se entrega un cuadro (Tabla 11) con la energía el uso de maquinaria estimada para cada hectárea de pradera mejorada y cultivo.

Tabla 11. Resultados de Energía de Maquinaria (MJ/ha).

	MJ/ha
Rastrojo Avena	1.729
Rastrojo Trigo	2.383
Rastrojo Maíz	5.698
Pradera Mejorada	784

Energía de Agroquímicos y Semillas.

El cálculo por hectárea de cada Agroquímico y Semillas, se estima en los cultivos anuales, el trigo, el maíz y en la pradera mejorada. El costo energético por kilo, así como la dosis de fertilizante sugerida, se detalla en las Tablas 12, 13 y 14. En la Tabla 15 se resumen los costos energéticos de agroquímicos y semillas por hectárea de cultivo.

Tabla 12. Costo Energético del Trigo en Agroquímicos y Semillas

Tipo Fertilizante	Costo energético por Kg	Kg de Inclusión por Hectárea	Costo Energético por Hectárea
	MJ/kg	kg/ha	MJ/ha
Nitrógeno (fórmula comp.)	76,12	100	761,2
P ₂ O ₅	15,13	70	1059,1
K ₂ O	9,3	80	744
Glifosato (IA41%)	455	2	910
Semilla Trigo	6,6	170	1122

Fuente: Adaptado de Fundación Chile, (2011).

Tabla 13. Costo Energético del Maíz en Fertilizantes y Semillas

Tipo Fertilizante	Costo energético por Kg	Kg de Inclusión por Hectárea	Costo Energético por Hectárea
	MJ/kg	kg/ha	MJ/ha
Nitrógeno (fórmula comp.)	76,12	300	22836
P ₂ O ₅	15,13	60	907,8
K ₂ O	9,3	65	604,5
Semilla Maíz	53,3	25	1332,5

Fuente: adaptado de Fundación Chile (2011).

Tabla 14. Costo Energético de la Avena (forrajera anual) en Fertilizantes y Semillas

Tipo Fertilizante	Costo energético por Kg	Kg de Inclusión por Hectárea	Costo Energético por Hectárea
	MJ/kg	kg/ha	MJ/ha
Nitrógeno (fórmula comp.)	76,12	100	761,2
P ₂ O ₅	15,13	60	907,8
K ₂ O	9,3	50	465

Fuente: Adaptado de Squella (2007).

Tabla 15. Energía Agroquímicos y Semillas

	MJ/ha
Rastrojo Avena	5.989
Rastrojo Trigo	7.631
Rastrojo Maíz	19.973
Pradera Mejorada	9.239

Resultados Módulo Ovino.

Oveja y Cordero.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a través del modelo ovino, para oveja y cordero. En el caso de la oveja se determinó la disponibilidad de forraje, consumo de forraje, ganancia de peso, gestación, lactancia y regulación de la temperatura del animal. El balance de energía de la oveja determinó la diferencia de peso en el animal. En el caso del cordero se consideró la disponibilidad de forraje, consumo de forraje, ganancia de peso, consumo de leche y regulación de la temperatura. El balance energético de estas variables en el cordero determinó su ganancia de peso.

El encaste de la oveja se supuso desde el 15 de diciembre hasta el 15 de enero. A partir del día 15 de enero se consideraron todas las ovejas preñadas. Los requerimientos de gestación solo se consideraron a partir del día 80 de gestación. La duración de la gestación son 5 meses. Después de la gestación, se considera la lactancia del cordero desde la segunda semana de junio hasta la segunda semana de agosto. La faena del cordero tiene una fecha límite hasta 5 meses del nacimiento (segunda semana de junio hasta el primero de diciembre). La salida del cordero del sistema puede ocurrir a partir del tercer mes de vida. Por lo general, en Chile la faena del cordero depende del peso, y un buen peso de faena se considera mayor a 30 Kg (ODEPA, 2013).

A continuación, en las Tablas 17 y 18 se presenta el resumen de los distintos pesos mensuales de la oveja y el cordero. Los resultados son presentados de acuerdo a la tipología de Toro-Mujica *et al.* (2013). La cantidad de animales promedio en cada grupo se observa en la Tabla 9. La cantidad de ovejas destinadas a faena o porcentaje de recambio anual corresponden al 20 %. También se incluyó en las estimaciones los parámetros de prolificidad 118% (Meneses, Squella y Crempien, 1990; y Squella, 2007), fertilidad 95,5% y porcentaje de parición 105% (Squella, 2007).

Los resultados de kg de animal vivo por grupo tipológico que se consideraron en el gasto energético, corresponden al mes de noviembre (Tabla 16).

Tabla 16. Resultados productivos de Cordero y Oveja (Kg) por Grupo Tipológico con un recambio del 20% anual

Grupo I	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Cordero Peso (Kg/cordero)						4,5	11,3	20,8	27,1	30,3	33,4
Cordero (Kg totales)						1002	2110	3585	4724	5333	5885
Oveja Peso (Kg/oveja)	54	54	53	51	50	49	50	52	54	56	58
Oveja (Kg totales)	1687	1669	1647	1605	1556	1567	1607	1689	1764	1834	1892
Suma de Kg=Cordero+Oveja	1687	1669	1647	1605	1556	2569	3717	5273	6488	7167	7777
Grupo II											
Cordero Peso (Kg/cordero)						4,5	11,3	20,8	27,1	30,3	33,4
Cordero (Kg totales)						547	1386	2475	3167	3434	3799
Oveja Peso (Kg/oveja)	54	54	53	51	50	49	50	52	54	56	58
Oveja (Kg totales)	1085	1068	1045	1026	1002	1005	1035	1079	1125	1172	1208
Suma de Kg=Cordero+Oveja	1085	1068	1045	1026	1002	1553	2421	3554	4292	4606	5007
Grupo III											
Cordero Peso (Kg/cordero)						4,5	11,3	20,8	27,1	30,3	33,4
Cordero (Kg totales)						6428	15250	25598	33217	36561	39863
Oveja Peso (Kg/oveja)	54	54	53	51	50	49	50	52	54	56	58
Oveja (Kg totales)	11477	11322	11237	10964	10574	10540	10923	11503	11951	12504	12937
Suma de Kg=Cordero+Oveja	11477	11322	11237	10964	10574	16969	26173	37100	45168	49065	52800

Tabla 17. Resultados productivos por Grupo Tipológico en Kilogramos de animal vivo por mes de producción.

Grupos Tipológicos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
GRUPO I	1680	1638	1607	1572	1528	2417	3690	5489	6507	7175	7808
GRUPO II	1081	1054	1034	1012	983	1555	2375	3532	4187	4617	5024
GRUPO III	11419	11135	10929	10690	10391	16432	25091	37319	44241	48786	53091

Resultados Intensidad Energética.

En los siguientes resultados se calcula la cantidad de energía para producir un kilogramo de peso vivo en un sistema productivo promedio de cada grupo tipológico estudiado

(Intensidad Energética o Gasto Energético). Los resultados se calcularon hasta el mes límite de engorda de los corderos (noviembre). Se hizo 10 repeticiones, dado que los modelos de oveja y cordero son aleatorios y se estimó la desviación estándar (D.E) y el coeficiente de variación (C.V.) por grupo tipológico estudiado.

La intensidad energética se calculó dividiendo los resultados del submodelo Pradera (MJ) por los resultados del submodelo ovino (kg de animal vivo totales) utilizando las dos metodologías anteriormente descritas (Proporcional al consumo y total de energía). Se realizaron 10 repeticiones del modelo aleatorio, y se obtuvo el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Los resultados son mostrados en las tablas 18 a 23.

Tabla 18. Intensidad Energética Total Maquinaria, Agroquímicos y Semillas por Grupo Tipológico en MJ/Kg.

Grupos/Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom.	D.E.	C.V.
Grupo I	6,3	6,4	6,3	6,2	6,6	6,1	6,1	6,2	6,4	6,4	6,3	0,2	3%
Grupo II	10,2	10,5	10,3	10,2	10,9	10,1	9,9	10,1	10,5	10,5	10,3	0,3	3%
Grupo III	17,5	17,9	17,7	17,5	18,6	17,2	17,0	17,2	17,9	18,0	17,6	0,5	3%

Tabla 19. Intensidad Energética Total de Fitomasa por Grupo Tipológico en MJ/Kg.

Grupos/Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom.	D.E.	C.V.
Grupo I	555	614	581	580	586	587	575	595	571	597	584,1	16,1	3%
Grupo II	421	465	440	439	444	445	436	451	433	452	442,6	12,2	3%
Grupo III	551	512	567	536	535	541	542	531	550	527	539,3	14,9	3%

Tabla 20. Intensidad Energética Total de Evapotranspiración por Grupo Tipológico en MJ/Kg.

Grupos/Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom.	D.E.	C.V.
Grupo I	56445	54799	55830	54801	56536	56409	56346	54607	56371	55508	55765	778	1%
Grupo II	38632	38139	38138	38856	39347	39258	39215	38004	39232	40822	38964	832	2%
Grupo III	47452	46068	46935	46070	47529	47422	47369	45907	47390	46665	46881	654	1%

Tabla 21. Intensidad Energética Proporcional al Consumo de Maquinaria, Agroquímicos y Semillas por Grupo Tipológico en MJ/Kg animal vivo.

Grupos/Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom.	D.E.	C.V.
Grupo I	3,3	3,4	3,4	3,3	3,5	3,3	3,2	3,3	3,4	3,4	3,4	0,09	3%
Grupo II	4,3	4,4	4,3	4,3	4,5	4,2	4,1	4,2	4,4	4,4	4,3	0,11	3%
Grupo III	7,1	7,2	7,2	7,1	7,5	7	6,9	7	7,3	7,3	7,2	0,19	3%

Tabla 22. Intensidad Energética Proporcional al Consumo de Fitomasa por Grupo Tipológico en MJ/Kg animal vivo.

Grupos/Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom.	D.E.	C.V.
Grupo I	197	218	206	206	208	209	204	212	203	212	207,6	5,73	3%
Grupo II	154	171	162	161	163	163	160	166	159	166	162,6	4,48	3%
Grupo III	180	167	185	175	175	177	177	173	180	172	176,1	4,86	3%

Tabla 23. Intensidad Energética Proporcional al Consumo de Evapotranspiración por Grupo Tipológico en MJ/Kg animal vivo.

Grupos/Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom.	D.E.	C.V.
Grupo I	21778	21143	21541	21144	21813	21764	21740	21069	21750	21417	21516	300	1%
Grupo II	15164	14971	14970	15252	15445	15410	15393	14918	15400	16024	15295	327	2%
Grupo III	15014	14577	14851	14577	15039	15005	14988	14526	14995	14765	14834	207	1%

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA). Cuando el resultado fue significativo se realizó una prueba de comparación múltiple de medias (a través del test de Duncan) para identificar los grupos que presentan diferencias. Los resultados aparecen a continuación, con el respectivo nivel de significancia.

Tabla 24. Resultados de Intensidad Energética por Método de Energía Total y Proporcional al Consumo (MJ/Kg animal vivo).

	Promedio			p
	Grupo I	Grupo II	Grupo III	
Método Energía Total				
Maquinaria y Agroquímicos	6,3±0,2a	10,3±0,3b	17,6±0,5c	<0,01
Fitomasa	584±16c	443±12a	539±15b	<0,01
Evapotranspiración	55.765±778c	38.964±832a	46.881±654b	<0,01
Método Energía Proporcional al consumo				<0,01
Maquinaria y Agroquímicos	3,4±0,09a	4,3±0,11b	7,2±0,19c	<0,01
Fitomasa	208±6c	163±5a	176±5b	<0,01
Evapotranspiración	21.516±300c	15.295±327b	14.834±207 ^a	<0,01

VI) Discusión

Energía de Maquinaria y Agroquímicos.

La intensidad energética de manejos culturales al considerar la metodología proporcional al consumo, corresponde a $3,4 \pm 0,09$; $4,3 \pm 0,11$ y $7,2 \pm 0,19$ MJ/Kg de animal vivo, para el Grupo I, II y III, respectivamente. Existen diferencias significativas entre todos los Grupos ($p < 0,01$) (**tabla 24**). En la estimación según energía total los resultados corresponden a $6,3 \pm 0,2$; $10,3 \pm 0,3$ y $17,6 \pm 0,5$ MJ/Kg de animal vivo, para el Grupo I, II y III. Existen diferencias significativas entre Grupo I y II; II y III; I y III ($p < 0,010$) (**tabla 24**). La intensidad energética tanto para el cálculo de energía total como proporcional al consumo es menor en el Grupo I que en el Grupo II, y la intensidad energética del Grupo II es menor que en el Grupo III (**tabla 24**). La intensidad energética valorada por el método de energía total del Grupo I es cercana a la obtenida por Guevara *et al.* (2013), de 6,5 MJ/Kg en los dos grupos estudiados. Este autor incluyó costo de combustible y fertilizante, además de gasto energético humano y animal.

Los resultados obtenidos por Barbell *et al.* (2007) en ovinos, corresponden a 7,5 MJ/Kg de animal vivo. Este valor es relativamente superior a los resultados obtenidos en nuestro Grupo I de producción, debido a que este autor consideró además insumos eléctricos, concentrado, y materiales de construcción de infraestructura.

Energía de Fitomasa.

La intensidad energética en el cálculo de energía proporcional al consumo, corresponde a 208 ± 6 ; 163 ± 5 y 176 ± 5 MJ/Kg de animal vivo, para el Grupo I, II y III, respectivamente. Se encontraron diferencias significativas entre todos los grupos ($p < 0,01$) (**tabla 24**). En el cálculo de energía total la intensidad energética corresponde a 584 ± 16 ; 443 ± 12 y 539 ± 15 MJ/Kg de animal vivo para el Grupo I, II y III, respectivamente. Se encontraron diferencias significativas entre todos los grupos ($p < 0,01$) (**tabla 24**).

Respecto a la metodología, solamente Valdés *et al.* (2009) considera la energía de la fitomasa en sus cálculos, sin embargo, no entrega resultados de intensidad ni eficiencia energética.

Energía de Evapotranspiración.

La intensidad energética de energía de evapotranspiración con la estimación de energía proporcional al consumo corresponde a 21.516 ± 300 ; 15.295 ± 327 y 14.834 ± 207 MJ/Kg de animal vivo, para el Grupo I, II y III, respectivamente. Las diferencias significativas son entre todos los grupos en estudio ($p < 0,01$) (**tabla 24**). Por el cálculo de energía total del sistema, corresponde a 55.765 ± 778 ; 38.964 ± 832 y 46.881 ± 654 MJ/Kg de animal vivo, para el Grupo I, II y III. Existen diferencias significativas entre todos los grupos ($p < 0,01$) (**tabla 24**).

Las investigaciones en revisión se enfocaron en calcular el gasto energético total de uso de insumos agrícolas, sin incluir en los cálculos el flujo energético de la pradera. En el presente estudio incorporamos la energía contenida en la fitomasa y la energía de trabajo de la pradera, por lo que el análisis no solo se enfocó en los insumos agrícolas, sino también en el uso de la pradera, mediante dos métodos de cálculo.

La energía de Evapotranspiración nos entrega información del predio que tiene el mejor uso del recurso agua. Aunque el agua que abastece a los cultivos y pradera proviene principalmente de la lluvia, la magnitud de los valores nos indica el predio que tiene la mejor proporción de cultivos y praderas. En este caso particular analizado, para estas condiciones agroclimáticas, el grupo II es el más eficiente en el uso de la energía de evapotranspiración, y por lo tanto de uso del agua.

VII) Conclusiones.

Para determinar cuantitativamente la Intensidad Energética y facilitar el análisis de los resultados de los predios productivos de ovinos en la Región de O'Higgins es indispensable distinguir y separar la energía de acuerdo a su fuente y magnitud. En relación a la fuente porque la importancia de la magnitud de la energía utilizada cambia según el origen de la energía (renovable o no renovables). La magnitud de la energía estudiada fue otro importante componente a distinguir, ya que energía de evapotranspiración y fitomasa comparten la fuente, pero no la magnitud.

Tanto los resultados de intensidad energética de energía total como de aquella proporcional al consumo, en nuestro estudio evidenciaron la diferencia entre los productores ovinos en la Región de O'Higgins, lo que valida la sensibilidad del modelo para discriminar entre distintos sistemas de producción. Así existen productores que gastan menos energía fósil o no renovable (Grupo I). En cambio, otros productores gastan o necesitan menos energía de fitomasa (Grupo II) y evapotranspiración (Grupo II y III), lo que está relacionado a recursos escasos de tierra y agua, respectivamente. Las condiciones climáticas del secano costero de la región de O'Higgins dificultan el aprovechamiento de tierra y agua (de lluvia) en otros cultivos o especies frutales, debido a la prolongada estación sin lluvia (6-7 meses sin lluvias). Es por esto, que el uso de la ganadería sobre las praderas naturales predominantes en esta región es sumamente eficiente en aprovechar suelos de productividad baja, y agua proveniente de lluvia, además la energía que alimenta al sistema es proveniente en su mayor parte del sol. De este modo, la ganadería en esta región, al tener un bajo uso de energías no renovables, es de bajo impacto medioambiental.

Por último, es importante mencionar que la tipología de grupos nos entrega escenarios y pautas del uso de praderas y recursos energéticos de sistemas productivos de la región. Sin embargo, este análisis podría ser más específico si se realizan auditorías y entrevistas a productores reales, para diferenciar mejor el uso de energía de los predios. Además se pueden agregar adaptaciones al modelo para generar otros indicadores de Sustentabilidad Ambiental, como por ejemplo, Eficiencia Energética (Energía Salida/Energía Entrada), que

nos proporcionaría un amplio rango de comparación entre predios de otros productos agropecuarios o forestales.

VIII) Bibliografía.

1. Altieri, M.A., 1994. Biodiversidad y Manejo de Plagas en Agroecosistemas. Haworth Press, NewYork, 185 pp.
2. Altieri, M. A., 2002. Agroecología: Principios y Estrategias para Diseñar Sistemas Agrarios Sustentables. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Sarandón S. J. (Ed). Ediciones científicas Americanas. Argentina. Cap 2: pp 49-56.
3. Bodas, R., Taberero de Paz, M.J., Bartolomé, D.J., Posado, R., García, J.J., Olmedo, S. y Rodríguez, L., 2013. Consumo Eléctrico en Granjas de Ganado Ovino Lechero de Castillas y León. Arch. Zootec. 62 (239): pp 439-446.
4. Cañas R, 1995. Alimentación y Nutrición Animal. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 551 pp.
5. Castellaro, G., 1988. Elaboración de un Modelo de Simulación del Crecimiento y Fenología de la Pradera Mediterránea Anual. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Agronomía, Santiago, Chile, 155 pp.
6. Castellaro, G. y Squella, F., 2006. Modelo Simple de Simulación para la Estimación del Crecimiento, Fenología y Balance Hidrico de Praderas Anuales de Clima Mediterráneo. Agricultura Técnica (Chile) 66(3): pp 271-282.
7. Conway, G.R. y Pretty, J.N., 1991. Cosecha Inoportuna: la agricultura y la contaminación. Earthscan Publisher, London.
8. FAO, 2008. Evapotranspiración de un Cultivo de Referencia. Folleto serie Riegos y drenaje. Número 56, 322 pp.
9. Fundación Chile, 2011. Manual de Recomendaciones del Cultivo de Maíz Grano, 48 pp.
10. Fundación Chile, 2011. Manual de Recomendaciones del Cultivo de Trigo, 52 pp.
11. Gillian Goodlass, G., Halberg, N. y Verschuur, G., 2001. Study on Input/Output Accounting Systems on EU agricultural holdings. Centre for Agriculture and Environment Utrecht, March 2001. Gliessman, S.R., 1998. Agroecología: Procesos Ecológicos en la Agricultura Sostenible. Ann Arbor Press, Michigan, 82 pp.
12. González, J. 2009. Energías Renovables. Editorial Reverté. España, 670 pp.

13. González, V., 2011. Factores Claves Para Aumentar la Eficiencia Productiva en Sistemas Pastoriles de Producción de Leche. Departamento de Producción Animal, Universidad de Chile, Circular de Extensión 2011, pp 28-34.
14. Guevara, F., Rodriguez, L., Saraoz, V., La O, M., Gómez, H., Pinto, R., Fonseca, M., Ruiz y Nahed, J., 2013. Balance Energético del Sistema Local de Producción de Bovinos de Engorde en Tectapán, Chiapas, México. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 47, Número 4, pp 359-365.
15. Hetz, E., y Barrios, A., 1997. Costo Energético de las Operaciones Agrícolas Mecanizadas más Comunes en Chile. Agro sur.25 (2): pp 146-161.
16. IFA, 1998. Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Fertilizantes. Marrakech: IFA. 19 pp.
17. Irima, S., Escudero, C. y Álvarez, C., 2012. La Eficiencia Energética en las Explotaciones de Vacuno Lechero en Galicia (España). XVI Congreso Internacional de Ingeniería en Proyectos, Valencia, 11-12 de julio.
18. Llanos E., Astigarraga L., Jacques R., y Picasso V., 2013. Eficiencia en Sistemas Energéticos Lecheros. Agrociencia Uruguay-Volumen 17(2): pp 99-109
19. Meneses, R., Squella, F. y Crempien, C., 1990. Sistema de Producción Ovina para la Franja Costera de la Zona de Clima Mediterráneo Árido de Chile. Producción primaria, Agricultura Técnica (Chile) 50(3): pp 243-251.
20. Moguel-Ordóñez, E., Tijerina-Chávez, L., Quevedo-Nolasco, A., Crespo-Pichardo, G. y Haro-Aguilar, G., 2001. Evapotranspiración y Balance de Energía en el Cultivo de Alfalfa. Agrociencia 35: pp 13-21.
21. Mora-Delgado, J., Ramírez, C. y Quirós, O., 2006. Análisis Beneficio-Costo y cuantificación de la Energía Invertida en Sistemas de Caficultura Campesina en Puriscal, Costa Rica. Agronomía Costarricense 30(2): pp 71-82.
22. ODEPA, 2013. Carne Ovina: Producción, Características y Oportunidades del Consumidor Nacional e Internacional. Archivo Electrónico: www.odepa.cl/bancoimg/agrimundo/infoagrimundo/carnes_rojas/pdf/Carnes%20Rojas%20Informe%20experto.pdf. Revisado 25/5/2014.
23. Pérez, P., Maino, M., Morales, M., Tomic, G., Aguilera, F. y Egaña, J., 2012. Calidad de Carne y Características de la Canal de Corderos Lechales Merino Precoz

- Criados en Confinamiento en la Zona Mediterránea Semi-Húmeda del Secano Costero Central de Chile. *Cienc. Inv. Agr.* 39 (2): pp 289-298.
24. Pimentel, D. y M. Pimentel, 1996. *Food, Energy and Society*. Niwot, CO, Colorado University Press. 400 pp.
 25. Sañudo, C. 1980. *Calidad de la Canal y de la Carne en el Ternasco de Aragón*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 377 pp
 26. Squella, F. 2007. *Técnicas de Producción Ovina para el Secano Mediterráneo de la VI Región*. Boletín INIA N°164. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 148 pp.
 27. Toro, P., 2005. *Análisis Productivo y Económico de los Sistemas Ovinos del Secano de la VI Región: Modelo de Simulación*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 133 pp.
 28. Toro-Mujica, P., Aguilar, C. y Vera., R., 2013. *Tipología y Evolución Intercensal de Sistemas de Producción Ovinos en la VI Región*. XXXVIII Reunión anual SOCHIPA. Frutillar, 23-25 Octubre. Chile, 24 pp.
 29. Valdés, N., Pérez, D., Márquez, M., Angarica, L. y Vargas, D., 2009. *Funcionamiento y Balance Energético en Agroecosistemas Diversos*. *Cultivos Tropicales*, 30(2): pp 36-42.
 30. West. T. y Marland, G., 2002. *A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91: pp 217-232.
 31. World Energy Council, 2004. *Eficiencia Energética: Estudio Mundial*. Indicadores, Políticas, Evaluación. Comité Argentino del Consejo Mundial de la Energía, 250 pp.

IX) Anexos.

Simulación con datos meteorológicos promedio de las estaciones Marchigue, La Rosa, Hidango y Colchagua.

Año	Mes Germinación Estimada	Precipitación Anual (mm)	Pradera Natural Simulada (Kg M.S./ha)	Consumo Animal total por Predio (Kg M.S.)	Producción Ovinos por Ciclo Productivo (Kg totales)	Consumo Kg M.S./Kg animal vivo	Peso Cordero	Relación Consumo/ Producción Pradera
1998	Mayo	175,8	517	37.130	4.014	9,3	17	81%
1999	Mayo	601,3	1350	68.964	7.470	9,2	32	58%
2000	Junio	927,3	969	60.886	6.776	9,0	28	71%
2001	Mayo	742,9	1058	65.053	7.154	9,1	31	70%
2002	Mayo	977,5	1386	69.820	7.602	9,2	33	57%
2003	Mayo	539,7	993	63.755	6.991	9,1	30	73%
2004	Junio	577,5	971	61.028	6.857	8,9	29	71%
2005	Mayo	803,3	1111	66.237	7.256	9,1	31	67%
2006	Junio	733,3	929	59.619	6.671	8,9	28	73%
2007	Junio	341,4	521	36.725	3.971	9,2	17	80%
2008	Mayo	585,2	1104	65.860	7.269	9,1	31	68%

Simulación de Gasto Energético con datos Promedio de Marchigue, Colchagua, Hidango y La Rosa.

Gasto Energético de Consumo de Maquinaria, Fertilizantes y Semillas (MJ/Kg animal vivo)	Gasto Energético Total de Maquinaria, Fertilizantes y Semillas (MJ/Kg animal vivo)	Gasto Energético de Consumo de Fitomasa (MJ/Kg animal vivo)	Gasto Energético Total de Fitomasa (MJ/Kg animal vivo)	Gasto Energético Consumo de Evapotranspiración (MJ/Kg animal vivo)	Gasto Energético Total de Evapotranspiración (MJ/Kg animal vivo)	Gasto Energético por Consumo Total (MJ/Kg animal vivo)	Gasto Energético Total (MJ/Kg animal vivo)
6,8	12,7	206	288	9.349	40.417	9.562	40.717
3,6	6,7	187	331	10.284	48.727	10.474	49.064
3,9	7,3	186	278	9.673	44.708	9.863	44.993
3,7	7,0	186	282	9.416	38.356	9.606	38.645
3,5	6,5	190	341	10.674	52.717	10.867	53.064
3,8	7,1	184	270	9.666	41.961	9.855	42.237
4,0	7,4	183	273	9.793	45.549	9.980	45.829
3,6	6,8	186	289	9.423	39.916	9.612	40.212
4,0	7,5	185	271	8.569	45.468	8.757	45.747
6,8	12,8	208	295	12.112	63.754	12.327	64.062
3,7	6,9	182	282	10.089	40.631	10.274	40.920