

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGETICA Y PROTEICA EN UN PREDIO
CON MANEJO AGROECOLOGICO DEL SECANO INTERIOR REGION
DEL BIOBIO, CHILE.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias
Agropecuarias y Forestales de la Universidad
de La Frontera. Como parte de los requisitos
para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

GLENDA EVELYN RUBILAR JARA

PROFESOR GUIA: DR. ALIRO CONTRERAS NOVOA

TEMUCO – CHILE

2014

**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGETICA Y PROTEICA EN UN PREDIO
CON MANEJO AGROECOLOGICO DEL SECANO INTERIOR REGION
DEL BIOBIO, CHILE.**

PROFESOR GUIA

:

Nota:

DR. ALIRO CONTRERAS NOVOA

Doctor Ingeniero Agrónomo

Facultad de Ciencias Agropecuarias y

Forestales

Universidad de La Frontera

PROFESOR CONSEJERO

ACADÉMICO

:

Nota:

DR. © AGUSTIN INFANTE LIRA

Ingeniero Agrónomo

Magíster en Desarrollo Rural

Director programa CET Biobío.

CALIFICACIÓN PROMEDIO TESIS

:

INDICE

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	5
2.1 El Consumo de Energía y su Importancia a Nivel Mundial.....	5
2.2 Características de los Agroecosistemas Agroecológicos y Convencionales.....	9
2.2.1 Los Agrosistemas Agroecológicos.....	9
2.2.2 Los Agrosistemas Convencionales.....	10
2.3 La Sostenibilidad de la Agricultura.....	12
2.4 Eficiencia Energetica como Concepto.....	13
2.4.1 Energía como necesidad.....	14
2.4.2 Fuentes de Produccion Energetica.....	16
2.4.3 Balance energético de un cultivo.....	22
2.4.4 Modelos Energeticos Sustentables.....	22
2.4.5 Balances energéticos en la agricultura.....	25
2.5 La Agricultura en el secano de Chile.....	29
2.6. El Centro de Educación y Tecnología, CET.....	32
2.6.1 Principios ecológicos aplicados en el CET.....	34
2.6.2 Subsistemas productivos presentes en el diseño del CET.....	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1 Área de estudio.....	37
3.2 Características edafoclimáticas.....	38
3.3 Herramientas para Calcular la Eficiencia Energética.....	39
3.4.1 Herramienta de Desarrollo del Software Energía 3.01.....	40
3.5 Organización de Datos Para Evaluar Eficiencia Energética.....	41
3.5.1 Construcción de Informes.....	42
3.5.2 Planilla Para la Captura de Datos.....	43
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1 Registro de datos de los cuatro años en estudio del centro agroecológico CET.....	44
4.2. Informes de parámetros de balance energético.....	45
4.3. Indicador del Balance Energético (Megajoules/kg).....	46
4.4. Parametros de Blance Energetico según la Produccion Neta de Energia (PNE).....	47
4.5. Costo Energético de la producción de Proteína y la Eficiencia Energético.....	49
5. CONCLUSIONES.....	51
6. RESUMEN.....	52
7. SUMMARY.....	53
8. LITERATURA CITADA.....	54
9. ANEXO.....	55

Dedicado a:

Este trabajo está dedicado a todas aquellas personas que ven el mundo de una forma distinta, y lejos de quedarse en las críticas a este sistema en que estamos insertos, buscan alternativas, porque creen en un mundo sustentable y sienten la necesidad, al igual que yo de mantener y difundir el respeto y la conexión con nuestra madre tierra “nuestra ñuke mapu “.La agricultura es necesaria para la sobrevivencia del ser humano y es por eso que debemos cuidar la forma en que la desarrollamos. Mantener siempre viva la inquietud del buscar las nuevas y mejores alternativas de vida.

“La Agroecología es un arma cargada de futuro”

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día es muy frecuente leer y escuchar en diversos medios que es fundamental aumentar el nivel de eficiencia energética de nuestra economía, tanto en los sectores industriales, agrícolas, residenciales como de transportes. La razón es que a nivel mundial la eficiencia energética se ha convertido junto a las energías renovables en uno de los pilares sobre los que construir un futuro en el que seamos más competitivos y menos dependientes energéticamente, al mismo tiempo mitigar los efectos del cambio climático. Por ello, cada vez son más numerosas y diversas las políticas públicas destinadas a promover la eficiencia energética, gobiernos de todo el mundo, están poniendo en marcha.

En la actualidad el uso de energías renovables se presenta como un gran desafío, tanto a escala local como global, debido a factores como el agotamiento de las fuentes de energía fósil, la inestabilidad de los precios del petróleo en los mercados internacionales y la acumulación de los efectos negativos sobre el medio ambiente por la quema de hidrocarburos y las consecuencias que esto genera, se ha demostrado que la combustión de los hidrocarburos, principal fuente energética utilizada mundialmente, es la causa fundamental de las emisiones de gases de efecto invernadero, en particular de CO₂, responsables del calentamiento global y de otros fenómenos asociados que amenazan la supervivencia de todos los seres vivos. Este proceso, de alcance insospechado, no solo pone en peligro la vida sobre la Tierra, sino que también ha provocado cambios en el clima nunca antes registrado. Todos estos factores son indicadores que argumentan la urgencia de definir mejores estrategias para optimizar los recursos energéticos disminuyendo así sus efectos negativos.

La actividad agropecuaria es uno de los sectores de la economía que podría avanzar con mayor rapidez en términos de eficiencia energética. Para ello es necesario diseñar e implementar de manera efectiva sistemas sustentables para la producción combinada de alimentos y energía. Los sistemas agrícolas y pecuarios podrían entregar mayor cantidad de energía en forma de productos alimentarios que aquella empleada para la producción a partir de diversas fuentes y, a su vez, deberían cumplir una función determinante para mitigar el cambio climático.

El 2009, la FAO, reconoce por primera vez que el mundo ha sobrepasado la cifra de mil millones de hambrientos, lo que hace evidente que los modelos globales de producción y distribución de alimentos establecidos no han cubierto las expectativas de solucionar este flagelo para la humanidad. Más recientemente esta organización declaró que “el futuro de la agricultura y la seguridad alimentaria están estrechamente ligados al cambio climático”, remarcando que el fenómeno agravará la situación de los pobres. Lo anterior reafirma que los modelos agrícolas convencionales e intensivos se alejan cada vez más de poder resolver el hambre, y que es necesario implementar sistemas agropecuarios multifuncionales con capacidad de adaptarse a los cambios que operan en los ambientes naturales y socioeconómicos.

El sector agropecuario puede y debe no solamente producir alimentos, sino también ser un vínculo clave para capturar y convertir la energía solar en biomasa, potencialmente utilizable para producir energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, por supuesto, se requerirá el apoyo y la participación de todos los sectores de la economía.

También es necesario identificar los elementos que hacen insostenible energéticamente la producción agropecuaria, así como reenfocar, promover y financiar aquellas alternativas tecnológicas y organizativas que permitan la utilización óptima de las diferentes fuentes disponibles de energía, con énfasis en las renovables.

Para ello es necesario diseñar e implementar de manera efectiva sistemas sustentables para la producción combinada de alimentos y energía. El objetivo final de estos sistemas es que la agricultura tenga un balance energético positivo, y que además, constituya un eslabón fundamental para la captura de CO₂ de la atmósfera y de esta forma contribuya a la disminución del calentamiento global. Los sistemas agrícolas y pecuarios podrían entregar mayor cantidad de energía en forma de productos alimentarios que aquella empleada para la producción a partir de diversas fuentes y, a su vez, deberían cumplir una función determinante para mitigar el cambio climático.

Según lo planteado es evidente la necesidad de desarrollar un modelo sustentable de producción de alimentos y energía. Este trabajo de tesis presenta un modelo de análisis de

eficiencia energética en la producción de alimentos y energía, se analizarán los datos del predio del Centro de Educación y Tecnología CET de Yumbel. Sistema que cuenta con un manejo agroecológico en el secano interior de la región del Bio Bio, se describirán algunos resultados que confirman la factibilidad energética y técnica de los sistemas agroecológicos. Finalmente, se ofrecen las bases metodológicas para calcular la eficiencia energética de los sistemas agroproductivos utilizando el programa Energía 3.01

Energía 3.01 es un software para almacenar y procesar datos sobre el funcionamiento energético de los agroecosistemas. Los datos provienen de muestreos que se realizan para determinar las cantidades de insumos y productos que se consumen y producen en un agroecosistema. Con los datos se calculan parámetros del balance energético y se realizan los gráficos representativos.

Hipótesis:

Se postula como hipótesis que la eficiencia energética, en un predio aumenta en el tiempo con la implementación de técnicas agroecológicas.

Objetivo general:

Calcular la eficiencia en el uso de la energía de un sistema productivo, así como la cantidad de personas que puede alimentar en el aporte de proteínas y energía necesarias para un chileno promedio, tomando en cuenta las producciones obtenidas y los insumos utilizados, del predio del Centro de Educación y Tecnología (CET) de Yumbel, a través del software CEDECO Energía 3.01.

Objetivos específicos:

1. Determinar y comparar la Eficiencia energética de un predio Agroecológico en cuatro años agrícolas (1993, 2000, 2007, 2013).
2. Determinar la cantidad de personas que alimenta según la producción de proteína y energía generada por el predio Agroecológico en los cuatro años estudiados.
3. Analizar y discutir los niveles de eficiencia energética entre predios convencionales y el predio agroecológico
4. Determinar la utilidad del software Energía 3.01, en el estudio de los parámetros de Balance energético del centro agroecológico CET.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El Consumo de Energía y su Importancia a Nivel Mundial.

Las prácticas agrícolas industriales han puesto su mayor énfasis en optimizar la captura de energía disponible en todas sus formas, con el incremento de la superficie fotosintéticamente activa y la aceleración de los ciclos productivos de plantas y animales. Los genetistas han desarrollado variedades de plantas que son más eficientes en la captura de energía solar para su conversión en biomasa, y razas de animales que aprovechan mejor los alimentos suministrados. Para ello se han establecido diseños especializados de cultivos y ganadería con el propósito de reducir cualquier tipo de competencia, y se crean condiciones propicias para que las distintas especies puedan expresar su potencial biológico. También se ha procurado mejorar el estado de fertilidad de los suelos mediante la manipulación (aplicación–corrección) de los nutrientes necesarios para una nutrición adecuada de las plantas. Asimismo, a través de los sistemas de irrigación, se controla el agua en función de las necesidades de los cultivos (Funes-Monzote, 2009).

Es innegable que la agricultura moderna incrementó los rendimientos absolutos por unidad de superficie, lo cual condujo a mayores producciones globales de alimentos (Matson *et al.*, 1997). Sin embargo, también es cierto que tales incrementos, en la producción alimenticia, han estado basados en el uso intensivo de energía proveniente de combustibles fósiles, lo que ha provocado impactos ambientales negativos (Rosset, 1999; Tilman *et al.*, 2002). Esto implica que los sistemas agrícolas altamente especializados se caracterizan por una dependencia cada vez mayor de la energía externa y, por ende, una baja eficiencia energética (Pimentel, 1997, 2004).

La agricultura moderna ha surtido efectos positivos en cuanto al aumento de la producción global de alimentos, pero a la vez se ha descifrado el impacto no menos apreciable de otros factores que limitan su sostenibilidad. Uno de ellos es la necesidad de cantidades cada vez mayores de insumos para mantener el “control” de los sistemas productivos. (Funes-Monzote, 2009).

La frecuente aparición de plagas que afectan irreversiblemente los cultivos o de enfermedades que se convierten en pandemias, la resistencia en espiral de plagas y malezas a los insecticidas y herbicidas utilizados, los problemas asociados a la compactación, salinidad, erosión y desertificación posterior de los suelos por su inadecuado laboreo, la contaminación por el excesivo uso de nutrientes, el agotamiento de los mantos freáticos, entre otros fenómenos, hacen cada vez más complejo y costoso producir alimentos con tal nivel de artificialización.

La evidencia también muestra que la naturaleza de la estructura agrícola y las políticas prevalecientes, han llevado a esta crisis ambiental a favorecer las grandes granjas, la especialización de la producción, el monocultivo y la mecanización. Hoy en la medida en que más y más agricultores se integran a la economía internacional, los imperativos para diversificar desaparecen y los monocultivos son premiados por las economías de escala. A su vez, la ausencia de rotaciones y diversificación elimina los mecanismos fundamentales de autorregulación, transformando los monocultivos en agroecosistemas altamente vulnerables y dependientes de altos insumos químicos. (Altieri, 1995).

Los sistemas convencionales e intensivos son, por principio: 1) *ineficientes*, puesto que están diseñados para utilizar una gran cantidad de insumos materiales y energéticos costosos, 2) *dependientes*, debido a que estos recursos en su mayoría provienen de una fuente que los suministra a merced de las fluctuaciones en los mercados, 3) *frágiles*, porque al escasear o faltar tales recursos el sistema colapsa, y 4) *poco resilientes y altamente riesgosos*, pues no tienen la capacidad de recuperarse en un breve lapso al impacto de agentes externos (Funes-Monzote, 2009).

En la medida en que la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y la ecología fue quebrada los principios ecológicos fueron ignorados y/o sobrepasados. De hecho, muchos científicos agrícolas han llegado al consenso de que la agricultura moderna enfrenta una crisis ambiental. Un gran número de personas está preocupándose acerca de la sostenibilidad a largo plazo de los actuales sistemas de producción de comida. Se ha acumulado evidencia que muestra que cuando el actual sistema agrícola intensivo de capital y tecnología ha sido

extremadamente productivo y competitivo, éste también trae consigo una serie de problemas económicos, sociales y ambientales (Conway y Pretty, 1991).

Las prácticas agrícolas sostenibles pueden alimentar a la población y proteger el mar, los bosques, las praderas y otros ecosistemas, por lo que proteger la biodiversidad y su potencial es decisivo para la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2008).

La agricultura de campo abierto es propensa a los efectos negativos de los factores abióticos tales como radiación, precipitación, temperatura, suelo y factores bióticos como plagas y enfermedades. Ambos factores limitan el potencial genético y de desarrollo de los cultivos. Otros factores que afectan este tipo de producción son las prácticas agrícolas de riego y nutrición, las cuales son en muchos casos ineficientes (Alpi y Tognoni, 1999).

Las técnicas de cultivo han cambiado sustancialmente a lo largo de los años, con la incorporación de maquinaria, equipos y el desarrollo de la industria de los fertilizantes y plaguicidas, que ha llevado a un aumento importante en la producción agrícola, pero también este aumento conlleva a una nueva problemática ambiental y de consumo energético muy alto (IICA, 1992).

Muchos estudiosos del agro han asumido que la dicotomía agroecosistema / ecosistema natural no necesariamente lleva a consecuencias indeseables, sin embargo, desafortunadamente una serie de “enfermedades ecológicas” han estado asociadas a la intensificación de la producción de comida. Estas puedan ser agrupadas en dos categorías: enfermedades del ecotopo, las cuales incluyen erosión, pérdida de fertilidad del suelo, depresión de las reservas de nutrientes, salinización y alcalinización, polución de los sistemas de aguas, pérdida de tierras de cultivos fértiles debido al desarrollo urbano. Segundo, enfermedades de la biocenosis, las cuales incluyen pérdida de cultivos, plantas silvestres y recursos genéticos animales, eliminación de los enemigos naturales, reaparición de plagas y resistencia genética a los pesticidas, contaminación química y destrucción de los mecanismos de control natural.

Bajo condiciones de manejo intensivo, el tratamiento de tales “enfermedades” requiere un incremento de los costos externos hasta tal punto que, en algunos sistemas agrícolas, la cantidad de energía invertida para producir un rendimiento deseado sobrepasa la energía cosechada (Gliessman, 1977).

La utilización excesiva e inadecuada de fertilizantes y plaguicidas, ha dado lugar a la contaminación de suelos y aguas, en promedio la aplicación de un kg de plaguicidas, solo un 1% del producto aplicado llega a los organismos nocivos, el otro 99% queda restante en los ecosistemas, una parte va a parar a la atmósfera por volatilización, otra parte importante queda en el suelo y el sobrante a las fuentes de agua. Otros efectos de los plaguicidas son los daños que causan a la fauna del medio y los residuos que quedan en los alimentos que son consumidos por humanos y animales (Camino y Muller 1993).

Actualmente los agricultores, han tenido que tomar una mayor conciencia de los costos de producción y de los beneficios y prestar más atención al rendimiento y a la gestión empresarial, pero continúan dejando de lado la reducción de los impactos generados por la actividad agrícola (IICA, 1992).

En los sistemas agrícolas de monocultivo y dependientes de recursos externos, no considera los costos asociados a la simplificación de la agro biodiversidad y raramente consideran aquellos relativos a las externalidades que producen deforestación, contaminación, degradación, daños a la salud (Funes-Monzote, 2009).

No hay duda que el creciente costo de la energía fósil y el paulatino deterioro del clima y la ecología global son factores claves que socaban poco a poco la capacidad de la humanidad para alimentarse, basada en un modelo de agricultura industrial, altamente dependiente del petróleo y muy ligada a la desregulación del comercio internacional de los alimentos, la privatización de los mercados de granos en algunos países y más recientemente a la entrada del capital especulativo en el comercio de commodities. Cada vez que fluctúan los mercados y los precios caen, una proporción considerable de campesinos y agricultores familiares son

marginados, dado los precios bajos que reciben por sus cultivos y por el elevado costo de los insumos –como los fertilizantes dependientes del precio del petróleo, mientras que los precios para los consumidores se elevan. La situación se agrava además con la dismantelación sistemática de la capacidad de producción nacional en muchos países, reemplazada por un énfasis en la producción para la agro exportación y agro combustibles, estimulados por enormes subsidios gubernamentales al agro negocio. Algunos de los efectos generados por los sistemas intensivos son el incremento del nivel de los mares y océanos, el aumento de la temperatura media, y el impacto más frecuente y severo de fenómenos atmosféricos que ocasionan cuantiosos daños económicos (Rosset 2009).

2.2 Características de los Agroecosistemas Agroecológicos y Convencionales.

El funcionamiento de los agroecosistemas actuales se basa en dos flujos energéticos: uno natural, que corresponde a la energía solar, y otro auxiliar, controlado directamente por el agricultor, que recurre al uso de combustibles fundamentalmente fósiles, ya sea directamente o en forma indirecta, a través de las materias primas industriales que emplea en el proceso productivo.

El primer flujo es el propio o natural de funcionamiento del ecosistema, es una energía, el Sol, abundante, renovable, gratuita y limpia. El segundo flujo corresponde a energía almacenada, normalmente el petróleo, de existencias finitas, relativamente cara y, por lo general, no limpia en el momento en el que su uso da origen a fenómenos de contaminación como la producción de CO₂, responsable en gran medida del cambio climático. (IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

2.2.1 Los Agroecosistemas Agroecológicos.

La disciplina científica que enfoca el estudio de la agricultura desde una perspectiva ecológica se denomina «Agroecología» y se define como un marco teórico cuyo fin es analizar los procesos agrícolas de manera más amplia. El enfoque agroecológico considera a los ecosistemas agrícolas como las unidades fundamentales de estudio; y en estos sistemas, los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas son investigadas y analizadas como un todo. De este modo, a la investigación agroecológica le interesa no sólo la maximización de la producción de un componente particular, sino la optimización del agroecosistema total. Esto tiende a reenfocar el énfasis en la investigación agrícola más allá de las consideraciones disciplinarias hacia interacciones complejas entre personas, cultivos, suelo, animales, etcétera (Altieri- Nicholls, 2000).

La agricultura es más que una actividad económica diseñada para producir un cultivo ó para obtener el más alto beneficio posible. Un agricultor ya no puede prestar atención solamente a los objetivos y metas de su unidad de producción y esperar que con esto puede enfrentar los problemas de la sostenibilidad en el largo plazo. La discusión sobre la agricultura sostenible debe ir más allá de lo que sucede dentro de los límites de la unidad de producción individual. La producción se percibe ahora como un sistema mucho más vasto, con muchas partes que interactúan entre ellas, incluyendo componentes ambientales, económicos y sociales (Gliessman 2001, Flora 2001). Son estas complejas interacciones y el balance entre todas estas partes lo que nos reúne a discutir que es la Agroecología, determinar cómo nos movemos hacia los agroecosistemas sostenibles, y como una perspectiva agroecológica es una forma de hacer la conversión hacia la sostenibilidad (Gliessman 2001).

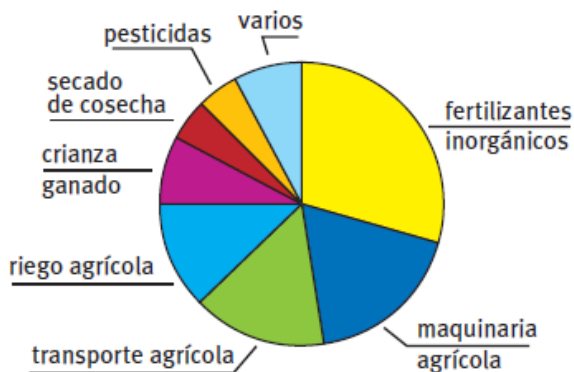
Un fundamento básico de la Agroecología es el concepto de ecosistema, definido como sistema funcional de relaciones complementarias entre los organismos vivos y su ambiente, delimitado por fronteras definidas arbitrariamente, en un tiempo y espacio que parece mantener un estado estable de equilibrio, pero a la vez dinámico (Odum, 1996, Gliessman, 1998).

2.2.2 Los Agroecosistemas Convencionales.

En términos generales, cabe decir que el objetivo de la agricultura convencional se reduce a la producción de alimentos en la cantidad suficiente que permita obtener unos ingresos elevados y que, consiguientemente, está enfocada casi con exclusividad al mercado, a la comercialización de sus productos. Este sistema productivo se desarrolla sin la incorporación de conceptos relacionados con la preservación del medio agrario y el medio ambiente (en la medida que la agricultura constituye una actividad con capacidad de impacto), no hay una preocupación general por la naturaleza, la salud, y el bienestar humano y, según algunos autores, también por el paisaje. La agricultura pasaría a ser concebida como una industria extractiva y destructiva (J.Ruiz Moya, 1994).

Los principales consumidores de energía en la agricultura moderna son la mecanización, los fertilizantes inorgánicos y, en menor medida, el riego y los pesticidas. En los años 70 la mecanización fue el mayor consumidor de energía de la agricultura, con 51% del total mundial (entre el 8% en el Extremo Oriente y 73% en Oceanía). Los fertilizantes son el segundo responsable del consumo de energía por la agricultura mundial que representó, en el periodo señalado, alrededor del 45% (entre el 84% en el Oriente y el 26% en Oceanía).

Gráfico 1. Consumos energéticos de la producción agrícola (Fuentes: McLaughlin y col., 2000).



Cuadro 1. Algunas características de los modelos convencionales y agroecológicos

Enfoque convencional	Enfoque agroecológico
• Monocultivo (baja diversidad) y economías de escala • Intensificación productiva basada en la importación de altos insumos externos • Incorporación de nutrientes a través de fertilizantes sintéticos • Control de plagas mediante pesticidas químicos • Alta artificialización de los agroecosistemas (mecanización, riego, variedades de alto potencial) • Genera dependencia de los productores en paquetes tecnológicos • Energéticamente dependiente	• Sistema biodiverso (plantas, animales, fauna del suelo y vida silvestre) • Escala apropiada a las características de un sistema de manejo ecológico (pequeña y mediana) • Conservación y manejo de la fertilidad del suelo mediante el incremento de la vida del suelo • Optimización de los ciclos y procesos • Intensificación del uso de los recursos naturales disponibles / locales • Mantenimiento de los niveles de resiliencia • Utilización de fuentes de energía renovable

Fuente: Funes-Monzote, 2009.

2.3 La Sostenibilidad de la Agricultura.

El desarrollo sostenible es una corriente mundial que busca un equilibrio económico de las actividades productivas y el ambiente, garantizando para las futuras generaciones una herencia de acceso de recursos naturales y calidad de vida que permita el desarrollo y crecimiento económico, social y ecológico de manera equitativa (PNUMA, 1998).

La Cumbre Mundial del Desarrollo Sostenible realizada en el año 2002, identificó cinco grandes temas integrantes de un enfoque internacional coherente con el desarrollo sostenible, los cuales son agua y saneamiento, energía, salud, agricultura y biodiversidad (UNESCO, 2003).

Con respecto a la agricultura, su sostenibilidad se ha perfilado como un modelo de crecimiento del sector, con enfoque en los ingresos y la preservación del capital ecológico, bajo

una tarea que en ocasiones se presenta bastante compleja al abarcar en forma simultánea e interdependiente factores como equidad, competitividad, preservación de los recursos naturales y ambiente. La agricultura sostenible o ecológica entiende que, dentro de un mundo globalizado, la especialización de la agricultura es determinante para asegurar el suministro eficiente de alimentos a una población mundial en rápido crecimiento y que permita preservar el ambiente (García, 1997).

Este tipo de agricultura se enfoca en el uso más eficiente de los recursos no renovables, como suelo, agua, combustibles, abonos inorgánicos, insecticidas y plaguicidas, incorporando técnicas como el uso de ciclos de control biológico, integración de los recursos del predio y la creación de nuevas alternativas de uso y reducción del consumo de insumos, que permitan mantener la viabilidad económica de las operaciones agrícolas. Mediante este sistema, se proyecta la mejora en la producción, protección de los recursos naturales y la calidad de vida de los agricultores y la sociedad como un todo. (Camino, 1993).

2.4 Eficiencia Energetica como Concepto.

El término energía (del *latín* *energia* y éste del *griego* *energeia*) posee una gran variedad de significaciones y matices, pero en general siempre se relaciona con la capacidad para realizar un trabajo, con la eficacia, con el poder o con la virtud para obrar (Diccionario de la Lengua Española, vigésima segunda edición).

Para la física moderna, la energía se define como la cantidad de trabajo que un sistema físico es capaz de producir. Y el trabajo sería el desplazamiento de un objeto debido a la aplicación de una fuerza. Ambas son medidas intercambiables y tienen las mismas unidades. Por lo tanto, la energía no es un componente material de los objetos, sino que acompaña a la materia en una cantidad medible. La energía es una abstracción matemática de una propiedad de la materia, que depende, entre otros, de su movimiento, temperatura, composición química, cantidad de masa, posición en el espacio, etc. De acuerdo a la física moderna, para cualquier

sistema y su entorno, la energía se conserva, por lo que no puede ser creada ni destruida, solamente se transforma de un tipo a otro y su suma total dentro del sistema permanece invariable en el tiempo (Primera Ley de la Termodinámica o Principio de la Conservación de la Energía).

2.4.1 Energía como necesidad.

La Comisión Nacional de Energía señala que la sociedad necesita energía para sustentarse y generar los bienes y servicios que requiere, los cuales se encuentran en creciente expansión. Hace unas décadas, la llamada “crisis del petróleo” instaló la noción de que los recursos energéticos del planeta eran limitados y podían agotarse, especialmente los combustibles de origen fósil. Posteriormente, la investigación científica aportó evidencias de que las actividades humanas están produciendo cambios en el sistema climático a nivel mundial, lo que podría acarrear consecuencias irreversibles y lamentables para la sustentabilidad de nuestra civilización. En efecto, se sabe que la quema de combustibles (petróleo, gas, carbón, leña) aumenta la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, contribuyendo al fenómeno del cambio climático global. Hasta el siglo XIX, la energía utilizada por las sociedades humanas estaba limitada a la energía humana o animal. Otros tipos de energía utilizadas ampliamente por las sociedades humanas eran la quema de madera y el uso del viento o de los saltos de agua para accionar molinos o bombas. Estas fuentes de energía tienen la limitación de que no pueden ser fácilmente transportadas y tampoco pueden ser transmitidas a distancias considerables. Con la era industrial se inicia el consumo de fuentes de energía proveniente de los combustibles fósiles (petróleo y gas entre otros).

La producción de energía a partir de combustibles fósiles tiene efectos nocivos sobre la biosfera, a corto, mediano y largo plazo. Contaminan el suelo, el agua y la atmósfera, contribuyendo significativamente, entre otros efectos, al cambio climático debido a la emisión de gases efecto invernadero.

En la actualidad, los países con fuertes déficit sociales están en la encrucijada de congeniar su desarrollo industrial, tecnológico y de servicios, actividades que tradicionalmente se asocian a un incremento en los consumos de energías, con la sustentabilidad ambiental, la conservación de la naturaleza y el respeto por las comunidades donde existen potenciales fuentes o recursos energéticos. Paralelamente, los países altamente industrializados han generado medidas de eficiencia energética para desacoplar el incremento del Producto Interno Bruto (PIB) del consumo de energía, que impacta significativamente sobre los recursos naturales y el medio ambiente.

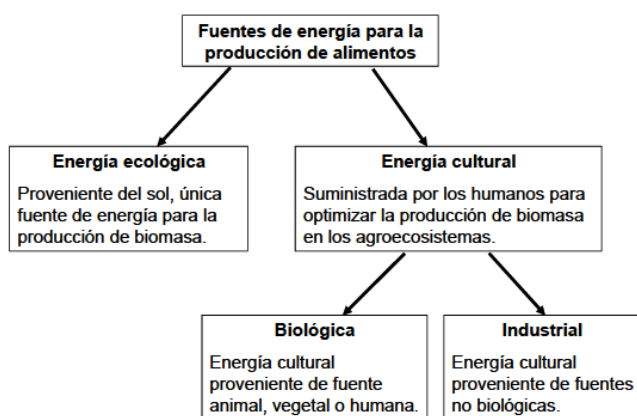
Además de la incorporación de nuevas tecnologías que permiten usar eficientemente la energía, los países desarrollados están introduciendo el uso de fuentes energéticas renovables no convencionales, las que tienen impactos menores sobre el medio ambiente y ayudan a mitigar el cambio climático (Comisión Nacional de Energía (2008): Política Energética. Nuevos Lineamientos, p 8.).

El flujo de energía auxiliar se introduce en el agroecosistema a través de los trabajos mecánicos, la fertilización, el uso de plaguicidas, etcétera. Se ha demostrado que este flujo auxiliar influye sobre la eficiencia con la cual los cultivos utilizan la luz solar interceptada. Los trabajos mecánicos, el riego y la adición de fertilizantes mejoran el estado del suelo por una mayor disponibilidad de elementos nutritivos asimilables y, por lo tanto, mejora la capacidad de asimilación, organización y acumulación de biomasa vegetal. Por eso, se suele señalar que los sistemas agrícolas llegan a ser más eficientes que los naturales no intervenidos en la utilización de la radiación solar interceptada.

Uno de los aspectos más importantes del proceso de artificialización del ecosistema natural es que la actividad productiva agrícola recurre cada vez más al flujo de energía auxiliar, y se hace, por consiguiente, cada vez más intensiva en el uso de la energía. Leach y Pimentel (2008) han destacado que el uso de energía en el sector agrícola, sobre todo en los países industrializados, ha crecido más rápidamente que en cualquier otro sector.

La energía está disponible para los agroecosistemas a partir de dos fuentes fundamentales: la energía ecológica y la energía cultural. La ecológica es aquella que proviene directamente del sol e interviene en la producción de biomasa a través de los organismos fotosintéticos. La cultural es la que suministran los seres humanos a fin de optimizar la producción de biomasa en los agroecosistemas. A su vez, se identifican dos fuentes de energía cultural: la biológica y la industrial. La primera es de origen animal o humano —trabajo animal o humano, estiércol o la energía de la biomasa—, mientras que la segunda proviene de fuentes no biológicas, como electricidad, gasolina, petróleo, gas natural, fertilizantes y maquinaria. La clave de los agroecosistemas radica en cómo utilizar mejor la energía cultural para transformar con más eficiencia la energía ecológica en alimentos u otras producciones agropecuarias (Gliessman, 2001).

Figura 1. Empleo de las fuentes de energía para la producción de alimentos.



2.4.2 Fuentes de Producción Energética.

Otras fuentes de energía renovable con un gran potencial para ser utilizadas en el marco de los sistemas agropecuarios son la energía producida por molinos de viento (eólica), la potencialmente utilizable de la caída del agua (hídrica), así como la captura y conversión de los rayos solares a través de celdas fotovoltaicas (solar). Las fuentes de energía provenientes de la biomasa (biológica) son variadas y los tipos de procesos que pueden utilizarse para su obtención, muy diversos.

El enfoque agro-energético ha estado dominado por la mejor manera en que pueden ser utilizados los llamados “portadores energéticos”, entre los cuales está el petróleo, la gasolina y la electricidad, o en cómo producir fuentes de energía renovable a partir de la biomasa. Estas fuentes de energía, mayoritariamente empleadas en la agricultura industrial, entran a los sistemas agrícolas a través del transporte, construcción de infraestructuras y maquinarias, y diversos insumos externos (fertilizantes, pesticidas, etc.). (Suárez Moya, 1998).

Sin embargo, entre las alternativas que existen para desarrollar una producción agropecuaria eficiente desde el punto de vista energético, una muy poco mencionada es la que proviene de las reservas intrínsecas del propio sistema agroproductivo. Probablemente la energía capturada y transformada de manera eficiente a través de los diferentes componentes de un sistema agrícola sea la más importante de todas.

De los organismos vivos que habitan nuestro planeta, las plantas son las que utilizan con mayor eficiencia la vasta energía solar disponible. Esta función la realizan a través de la fotosíntesis, mediante la cual convierten la energía solar en compuestos bioquímicos estables, eslabón para la producción de sustancias orgánicas que complementan los ciclos biológicos y geológicos sobre la Tierra. La energía almacenada por los vegetales contribuye al desarrollo del resto de los organismos consumidores y descomponedores, aunque en cada nivel ocurre una pérdida de energía. (Funes-Monzote, 2009).

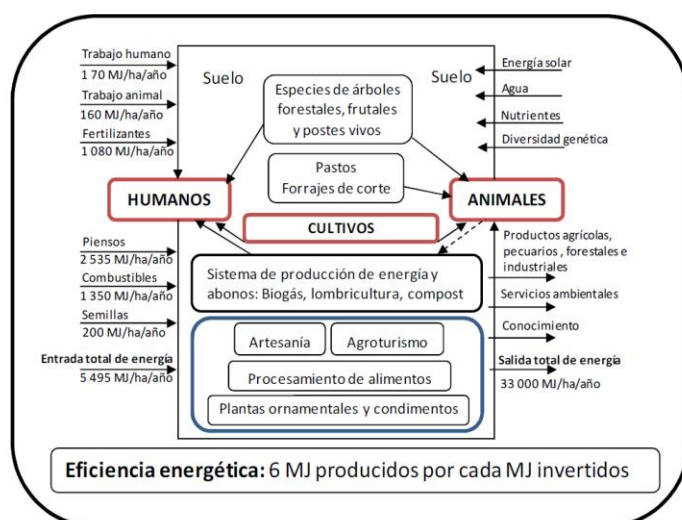
Este proceso es aún muy ineficiente en aprovechar la energía solar. Según (Turk y Turk, 1988), de 1 Mcal emanada por el Sol, se pierden en el ambiente 988 Kcal, por lo que las plantas pueden captar, transformar y producir solo 12 Kcal, de las cuales 2 se utilizan en la respiración y 10 (1%) están disponibles como producción primaria bruta para la alimentación de animales y seres humanos. Si esta energía es consumida por los animales, estos serán capaces de generar una producción secundaria de 0,1 Kcal (1%), de la cual el hombre solo podrá asimilar 0,005 Kcal (5%).

Es por esta razón que las tierras dedicadas a la agricultura, que producen directamente para el consumo humano, son más eficientes desde el punto de vista energético y productivo en función de sus necesidades alimenticias. Por el contrario, los sistemas ganaderos son grandes consumidores energéticos, por cuanto se alimentan de plantas u otros animales que a su vez también se alimentaron de plantas; es decir, que son organismos incapaces de producir energía por sí mismos. Por ende, los sistemas ganaderos son menos eficientes desde el punto de vista energético para los propósitos de alimentación humana. Es bien conocido que el ganado se considera un competidor por el área y los alimentos con los seres humanos.

Entre las especies animales existen también algunas más eficientes que otras desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía en función del crecimiento y la producción de carne, leche, huevos u otros.

Además, la producción animal juega un importante papel debido al alto valor biológico de esta proteína. Por tanto, se requiere sostener el criterio de “balancear” energéticamente los beneficios provenientes de la producción animal y vegetal con el fin de desarrollar sistemas agrícolas integrados, más eficientes y productivos, que respondan a las necesidades nutritivas, existenciales y funcionales del hombre (Funes 2009) (figura 3).

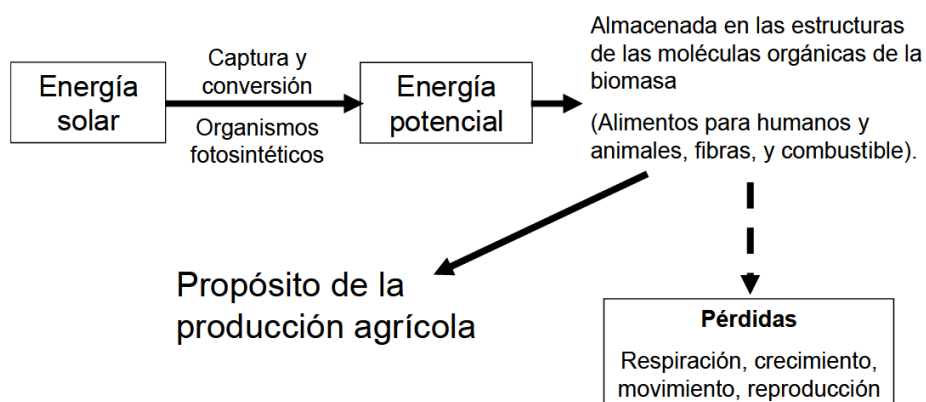
Figura 2. Modelo energético sustentable para la producción de alimento y energía.



Bajo una concepción agroecológica de producción de alimentos es tan o más importante contar con fuentes de energía renovable como con diseños integrados, diversificados y autosuficientes, que optimicen el uso de la energía disponible y, una vez capturada, hacer que esta circule a través del sistema. Podría decirse que el aspecto clave de los flujos energéticos en los Agrosistemas radica en la manera en que es utilizada la energía cultural para la conversión de la energía ecológica en biomasa.

La energía solar es la savia de los Agrosistemas y fluye constantemente en una sola dirección (figura 3). (Suárez Moya, 1998.).

Figura 3. Flujo energético abreviado en los Agrosistemas.



Comprender los flujos y balances de energía es un elemento básico para lograr la sostenibilidad energética, importante tanto por razones económicas como ecológicas y sociales. El conocimiento y la cuantificación de la eficiencia energética de los sistemas de producción de alimentos deberían constituirse en una herramienta fundamental para el diseño de mejores estrategias de manejo agrícola y toma de decisiones políticas. Por ello resulta prioritario incorporar los elementos metodológicos necesarios con el objetivo de diseñar sistemas sustentables para producir alimentos y energía de manera combinada. Este paso será decisivo para el uso más eficiente de las fuentes energéticas disponibles, tanto biológicas como industriales.

Por otra parte, algunos factores que contribuyen a disminuir la eficiencia energética de los sistemas agropecuarios y que deben evitarse a la hora de diseñar estrategias energéticamente sostenibles para la producción de alimentos son:

- Sistemas de monocultivo en grandes extensiones.
- Excesivo uso de maquinarias.
- Utilización masiva de fertilizantes químicos y plaguicidas.
 - Empleo desmedido de alimentos concentrados para incrementar la productividad por animal.
- Desaprovechamiento o quema de residuos de cosecha.
- Escasa utilización del área de cultivo en tiempo y espacio.
- Ineficiente empleo de la mano de obra.

La eficiencia energética de un sistema agropecuario puede ser relativa a la intensidad con que se utilicen los recursos energéticos internos o externos (modelos productivos abiertos o cerrados, industriales o de bajos insumos), pero también es relativa al tipo de producción que se realice (frutas, carne, hortalizas, leche, madera, posturas, etc.). Como se señaló anteriormente, la producción vegetal es intrínsecamente más eficiente en el uso y conversión de la energía que la animal. Las plantas, por ser organismos autótrofos, se encuentran en el primer eslabón de la cadena alimentaria y son consideradas productores primarios. Mientras que un sistema ganadero de productividad media llega a proveer suficiente energía y proteína para cubrir los requerimientos de entre dos y tres personas por hectárea, los sistemas agrícolas como promedio son capaces de producir entre 11 y 15 personas por hectárea (Schiere, 2002).

Los animales son productores de fuentes proteicas, vitaminas, grasas, minerales, servicios y otros recursos muy preciados para la industria. También consumen subproductos agrícolas y alimentos fibrosos que no pueden ser utilizados directamente en la alimentación humana, y que aprovechan antes de incorporarse al suelo. Por tanto, cumplen importantes funciones de reciclaje de nutrientes dentro de la concepción de los sistemas integrados (Monzote y Funes-Monzote, 1997). Además, algunos animales se utilizan con frecuencia por los agricultores para realizar

labores de tiro y trabajos pesados como el cultivo y laboreo del suelo, las cuales constituyen un ahorro energético y otra forma de reciclar la energía dentro del sistema.

Según Kolmans y Vásquez (1996), la diferencia fundamental entre la agricultura convencional y la ecológica, desde el punto de vista energético, radica en que la primera recurre a fuentes de energía externa para mantener los equilibrios internos del sistema, mientras que en la segunda este equilibrio se logra fomentando los ciclos vitales de la naturaleza. Es por esto que el grado de artificialización de un agroecosistema está relacionado directamente con la alteración de estos ciclos y la introducción de insumos externos.

En el correcto empleo de los potenciales energéticos de los sistemas agrícolas, influyen otros elementos, entre ellos la organización de la unidad productiva. Mollison (1994) considera que la planificación eficiente de la energía es, a su vez, la planificación para una eficiencia económica, donde la clave está en la correcta ubicación de la zona y sector de las especies de plantas, animales y estructuras productivas. Además, la producción de un renglón o producto en sí o el sistema de producción empleado, repercuten decisivamente en el resultado de la eficiencia energética de una unidad de producción agrícola. En el cuadro 2 se muestra cómo la eficiencia energética de un sistema agroproductivo depende no solo del tipo de producción, sino también del nivel de intensidad en el uso de los recursos energéticos, es decir, del costo energético de la producción. El balance adecuado entre eficiencia energética, eficiencia productiva y bienestar humano será un factor importante en su sostenibilidad.

Cuadro 2. Eficiencia energética de varios productos agropecuarios.

Producto	Eficiencia energética
	Energía producida/energía consumida
Maíz (manual)	10
Cereales, boniato	2.5 - 5
Papas	1.6
Frutas y verduras	0.1 - 1
Leche	0.4 - 0.5
Carne (ganado no estabulado)	0.3
Huevos (producción comercial)	0.2
Carne de ave (producción comercial)	0.1

Fuente: Elaborado a partir de Pimentel (1980)

2.4.3 Balance energético de un cultivo.

Un balance energético es una operación sencilla de entradas y salidas de energía necesarias para producir un producto como el trigo, cebada, hortalizas, frutales, etc.

Las Entradas (input) serán, en primer lugar, las energías primarias utilizadas, como el combustible de los tractores y máquinas que laborean la tierra, siembran, cosechan o transportan la cosecha. Pero también se ha de tener en cuenta las energías secundarias, procedentes del uso de las materias primas y de los materiales. Es el caso de los fertilizantes, fitosanitarios, semillas y de los propios tractores y máquinas en sí mismos. Por ejemplo, si producir y transportar cada kilogramo de fertilizante tiene un coste energético determinado, este coste se ha de cargar al cultivo en el que se aplique al hacer su balance energético.

Las Salidas (output) corresponden al valor energético de las cosechas, del cultivo producido y comercializado.

El Balance Energético de un cultivo consistirá en relacionar las entradas con las salidas de energía, expresadas en las mismas unidades. Los balances energéticos pueden expresarse bien en valores absolutos de Energía Neta ganada o perdida, procedente de la diferencia entre

Entradas y Salidas de energía, expresada normalmente en megajulios por hectárea (MJ/ha), o bien en valores relativos, como Eficiencia Energética del cultivo, procedente del cociente entre Salidas y Entradas de energía, y expresado en unidades de eficiencia (Ciria, 2006).

2.4.4 Modelos Energeticos Sustentables.

Uno de los requisitos que debe cumplir la agricultura para ser considerada sustentable es la conservación de los recursos renovables y no renovables. El uso ineficiente de la energía derivada de los recursos no renovables, fundamentalmente del petróleo, característico de los sistemas de agricultura industrial (FAO, 2000) se contrapone con el objetivo de mantener la base de estos recursos y es, en consecuencia, uno de los factores que señala la insustentabilidad de este modelo de agricultura. Por lo tanto, si se pretende alcanzar la sustentabilidad de la agricultura, es necesario analizar la eficiencia energética de los sistemas productivos, como una medida de la racionalidad en el uso de los recursos no renovables, y tender al diseño de sistemas eficientes energéticamente (Cieza y Flores 2000).

Hasta hace unas cuatro décadas, los rendimientos de los cultivos en los sistemas agrícolas dependían de los recursos internos, del reciclado de la materia orgánica, de los mecanismos de control biológico y del régimen de las lluvias.

Los rendimientos agrícolas eran modestos pero estables. La producción se aseguraba sembrando más de un cultivo o variedad, en el espacio y en el tiempo, como un seguro contra las explosiones de plagas o la severidad del clima. Los aportes de nitrógeno se lograban rotando los principales cultivos con leguminosas.

Al mismo tiempo las rotaciones suprimían a los insectos plaga y enfermedades al quebrar efectivamente el ciclo de vida de éstas. En este tipo de sistema agrícola la relación entre la agricultura y la ecología era bastante fuerte y los signos de degradación ambiental eran raramente evidentes (Altieri, 1995).

Mientras que la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y la ecología se debilitó en la medida en que los principios ecológicos fueron ignorados y/o sobrepasados. De hecho, muchos científicos agrícolas han llegado al consenso de que la agricultura moderna confronta una crisis ambiental.

Un gran número de personas están preocupadas por la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas actuales de producción agrícola. Existe evidencia que muestra, que aunque el sistema agrícola imperante con una aplicación intensiva de capital y tecnología, ha sido extremadamente productivo y competitivo, trae consigo también una serie de problemas económicos, sociales y ambientales (Conway y Pretty, 1991).

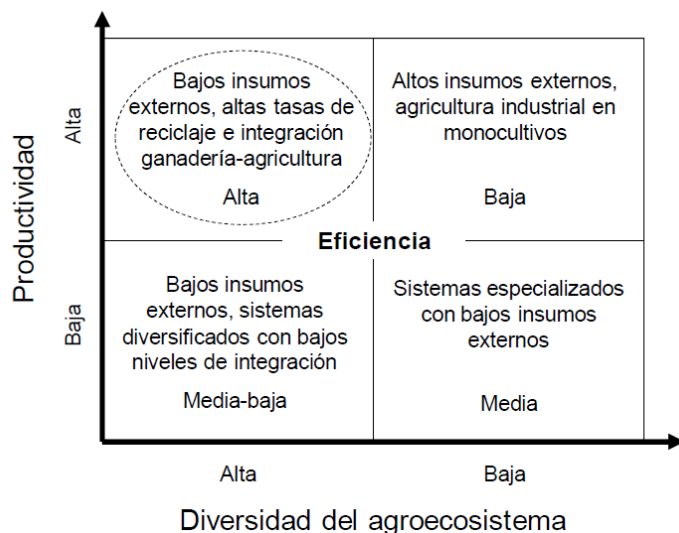
La evidencia muestra también que la estructura del agro y las políticas prevalecientes, han llevado a esta crisis ambiental a favorecer a las grandes empresas, la especialización de la producción, el monocultivo y la mecanización.

En la medida en que cada vez más agricultores se integran a la economía internacional, los imperativos para diversificar desaparecen y los monocultivos son premiados por las economías de escala. A su vez, la ausencia de rotaciones y diversificación elimina los mecanismos fundamentales de autorregulación, transformando a los monocultivos en agroecosistemas ecológicamente vulnerables (M. Altieri , C. Nicholls 2000).

Un elemento clave de los sistemas agropecuarios sustentables para la producción de alimento y energía es la combinación entre diversidad, productividad y eficiencia energética. Con el cultivo biointensivo de alimentos (más alimentos en menos espacio), se ha logrado aumentar entre cuatro y ocho veces los rendimientos obtenidos por los agricultores que usan las técnicas agrícolas mecanizadas y químicas. Además, se ha reducido al menos a la mitad el consumo de agua y unas diez veces el de energía, al prescindir de abonos químicos, pesticidas y herbicidas (Funes-Monzote, 2009).

Estudios realizados en Cuba durante los últimos diez años (Monzote *et al.*, 1999; Funes-Monzote, 2009) muestran que a mayor agrodiversidad — en cuanto a cultivos, ganadería y especies de árboles, como parte de los sistemas agrícolas integrados y multifuncionales—, los sistemas agroecológicos que logran altos niveles de integración y reciclaje ganadería agricultura, alcanzan mayor productividad y eficiencia (figura 4).

Figura 4. Análisis combinado de tres atributos de los sistemas sustentables: diversidad, productividad y eficiencia, y su caracterización en función de cuatro modelos contrastantes de agricultura



En Cuba, la escasez de insumos químicos, maquinaria y energía fósil ha sido el motor impulsor de un movimiento agroecológico a escala nacional en el que la innovación ha estado presente en todo momento. El resultado más relevante de este proceso ha sido la creación de una conciencia sobre los beneficios de la diversidad, así como la generación de una vasta experiencia en el diseño y manejo de sistemas diversos, heterogéneos y complejos (Funes-Monzote, 2009).

2.4.5 Balances energéticos en la agricultura.

Los balances energéticos son una metodología por medio de la cual se analiza como los sistemas productivos captan, degradan y convierten la energía. Para ello se requiere de la cuantificación y estudio de las entradas y salidas de recursos e insumos de los sistemas productivos en unidades energéticas (kilocalorías o julios) (Leach, 1976).

Estos balances son considerados actualmente como un índice para el estudio de la sostenibilidad ecológica de los sistemas productivos ya que permiten evaluar la eficiencia en el uso de la energía y la conversión obtenida de la relación existente entre los flujos energéticos de entrada y salida de los sistemas (Fernández, 1981).

Desde la perspectiva de la economía ecológica se defiende la utilización de unidades físicas para medir la productividad de los sistemas, pues ese tipo de unidades son por definición, invariables en el tiempo y en el espacio, y no están sujetas a apreciación humana (Fernández et al., 1997; Leach, 1976).

Se entiende por “entrada” energética a los ingresos de energía que tienen un costo de oportunidad en el sentido económico, y por lo tanto implican un costo monetario, e incorpora en los cálculos la energía bruta contenida en las “entradas”, y la energía gastada en la transformación de las mismas hasta que son utilizados por los agricultores. Por ejemplo si se aplica un kilogramo de fertilizante al sistema, se considera el valor energético del kilogramo de fertilizante como el costo energético invertido en su fabricación.

En el cuadro 1 se muestran valores de entradas energéticas determinadas por diferentes investigadores para insumos y materiales de uso agrícola. El aporte energético para las semillas se valora como un porcentaje del contenido energético del producto que se trabaje (Naredo y Campos, 1980). Las entradas consideradas suponen entre un 90 y 100% de las entradas energéticas de las actividades agrarias y las estimaciones a las que se llega pueden considerarse como una muy buena aproximación de los flujos energéticos para el análisis de sistemas

agrícolas (Pimentel et al., 1989; Naredo y Campos, 1980).

Cuadro 3. Gasto energético y contenido calórico de insumos agrícolas

Insumos y materiales	Valor energético
Diesel	43,3 MJ/litro
Gasolina	46,6 MJ/litro
Trabajo humano	1, 0 MJ/hora
Electricidad	3,59 MJ/ KW/h
Fertilizante (Nitrógeno)*	60 MJ/kg
Fertilizante (fosforo)*	14 MJ/kg
Fertilizante (Potasio)*	9 MJ/kg
Abono orgánico*	0,29 MJ/kg
Fertilizante urea	80 MJ/kg
Manguera de riego	5,86 kJ /kg

* Energía gastada en su fabricación y la energía contenida en el mismo.

Fuente: Pimentel et al. (1989), Pimentel et al. (1983), Naredo y Campos (1980), Leach (1976), Fernández (1981).

En cuanto a las “salidas” energéticas se considera la energía contenida en los alimentos o biomasa producida y aprovechada al finalizar el ciclo productivo (Leach, 1976; Fernández, 1981, Pimentel, 1983).

Para el estudio del sistema productivo se pueden expresar los valores de las sumatorias de entradas y salidas como una diferencia (salidas - entradas), lo que indica la producción neta de energía (PNE):

$$PNE = \sum \text{Entradas} - \sum \text{Salidas}$$

La relación entre estos dos términos de salidas y entradas indica el rendimiento o índice de eficiencia energética del sistema (IEE):

$$IEE = \frac{\sum \text{Salidas}}{\sum \text{Entradas}}$$

Una energía neta positiva e índices de eficiencia mayores que uno (donde las salidas energéticas son mayores al consumo energético del sistema) indican sistemas agrícolas eficientes

energéticamente y por ende sostenibles ecológicamente (Pimentel *et al.*, 1983; Cusso *et al.*, 2006; Funes, 2005).

Diversas investigaciones sobre balances energéticos en la agricultura, realizados en Europa y Norteamérica, demuestran que desde principios de los años sesenta ha bajado considerablemente el rendimiento energético, pasando de ser claramente positivos en las agriculturas pre y semi-industrializadas, a rendimientos negativos en muchos casos y a consumir más calorías de las que se producen con el sistema agrario industrial actual (Leach, 1976; Puntí, 1982; Pimentel *et al.*, 1983; Naredo y Campos, 1980).

Esto implica que el progreso técnico en agricultura ha conducido a la rápida degradación de su rendimiento energético. La degradación del rendimiento energético se produce por una doble sustitución en los elementos del rendimiento. En las entradas aumentan la proporción de insumos no renovables (productos químicos o mecánicos, carburantes, alimentos preparados), disminuyendo los insumos gratuitos (energía solar, actividad biológica, reciclado de nutrientes y fertilización orgánica), convirtiendo al sistema productivo en un fuerte consumidor energético (Pimentel *et al.*, 1983; Roselló *et al.*, 2005).

Paralelamente, en las salidas la parte de productos inutilizados aumenta, debido a la especialización en la actividad agraria y a la evolución del modelo social y productivo de consumo (disminución de las complementariedades y los intercambios de subproductos dentro y entre explotaciones); esta producción no utilizada simplemente se pierde creando desechos (Puntí, 1982, Roselló *et al.*, 2005; Funes, 2005).

Bayliss-Smith (1982) en un estudio comparativo de la agricultura en un pueblo en el centro de Inglaterra, entre las décadas de 1820 y de 1970, encontró que el rendimiento por hectárea y año pasó de 7.400 a 45.000 megajulios (MJ) (seis veces más) y la productividad por trabajador y día, pasó de 80 a 2.420 MJ (treinta veces más). Específicamente el autor menciona que para explotación en el año 1826, el 98% de los insumos energéticos eran biológicos: un 77% humanos y un 21% animales y sólo el 2% correspondía a energía fósil utilizada en la fabricación

de equipos, con lo que se obtuvo una eficiencia energética de 40. Ya para el año 1977, se obtenía una producción agrícola muy parecida en volumen, pero los insumos de energía animal habían desaparecido, la energía humana bajó al 0,2% del total, siendo el 99,8% restante de energía fósil (energía consumida en la producción de máquinas y sustancias químicas y en el uso de las máquinas) y el valor de la eficiencia energética se redujo a 2,1. Pimentel (1993) comparó un sistema de producción convencional de maíz con otro orgánico (ecológico), ambos en los Estados Unidos, con utilización de tractores, maquinaria y fluido eléctrico. Lo que distinguía esencialmente los sistemas era la sustitución completa de los fertilizantes inorgánicos por estiércol y la abstención de usar insecticidas y herbicidas por parte del sistema orgánico. En este caso la eficiencia energética (salidas/entradas) obtenida fue de 3,21 para la producción convencional y de 5,90 para la orgánica.

Millán (1995) encontró que en la agricultura industrial española para los años 90 la eficiencia energética sólo alcanzaba valores entre 0.8 a 1, por lo que, su balance energético era negativo. Asimismo Barney (2000) menciona que el sistema agroalimentario estadounidense funciona con rendimiento 1:10 en promedio, lo que significa que para poner una caloría sobre la mesa se invierten diez calorías petrolíferas y en el cultivo de verduras de invernadero durante el invierno llegan a alcanzarse valores tan elevados como 1:575.

Cussó *et al.* (2006), en un estudio comparativo entre mediados del siglo XIX y finales del siglo XX en la agricultura catalana, constataron que a partir de los balances energéticos desarrollados en los 150 años transcurridos, se ha producido una espectacular pérdida de eficiencia energética y de sostenibilidad de los sistemas agrarios, a pesar de los grandes incrementos de la productividad por hectárea de los diversos cultivos y de la producción ganadería, que se atribuye totalmente al paso de una agricultura orgánica avanzada a unos sistemas agrarios con un elevado consumo de combustibles fósiles en forma de carburantes, abonos de síntesis y fitosanitarios y, especialmente, al peso descomunal de la actividad ganadera, desarrollada completamente al margen del territorio.

En Costa Rica, Marozzi (2002), en la Antología de Balances Energéticos recoge dos proyectos de balances energéticos en sistemas agrícolas desarrollados por asistentes de investigación como parte de cursos en la Escuela de Economía de la Universidad Nacional, Heredia.

El primer estudio desarrollado por Bellavita y Varela (2001) se compara dos fincas productoras de café orgánico asociados con árboles frutales de sombra, donde la cosecha de los frutales también es aprovechada, utilizando dos cada una diferentes tipos de abono orgánico. Como resultados se obtuvo un balance energético positivo y otro negativo, ya que en un sistema por cada Kilojulio (KJ) aportado al sistema se obtuvo 2,44 KJ (IEE), mientras que en el otro sistema se obtuvieron 0,05 KJ. Se explica que la diferencia se debió principalmente en la aplicación del abono gallinaza en una finca y de compost en la otra, el primer abono aporta bastantes nutrientes pero posee un alto valor energético, mientras que el segundo aporta suficientes nutrientes y posee un menor valor energético.

El segundo estudio desarrollado por Méndez y Silva (2001) compara dos sistemas de producción de helechos en la zona sur de la provincia de Cartago, una con un sistema de cultivo en transición a orgánico y otra con sistema convencional. En ambos casos se obtuvieron balances energéticos positivos (fincas eficientes en el uso de la energía), sin presentarse diferencias considerables en la energía neta y la eficiencia energética de los sistemas.

2.5 La Agricultura en el secano de Chile.

Como proyección a nivel nacional respecto a la superficie de áreas arables per cápita, se estima que para el año 2035 ésta será de 0,26 ha por habitante, mientras que en el año 1995 este valor fue de 0,38 ha. Esta disminución estaría dada principalmente por el efecto combinado del crecimiento de la población, los procesos degradativos y las pérdidas de suelo por expansión urbana (cambio de uso de suelo), las que anualmente consumen unas 1.200 ha. Algunos impactos directos de la agricultura pueden ser la degradación y salinización de los suelos, el agotamiento

de las napas freáticas y la degradación de la calidad de las aguas por la lixiviación de fertilizantes y pesticidas.

En Chile, el gobierno ha definido a la Agricultura Familiar Campesina (AFC) como un sector muy sensible que es necesario apoyar para transformarlo en un sector productivo importante para el país, debido a la cantidad de recursos físicos y humanos que involucra.

El secano interior de la Región del Biobío es considerada una importante área agroecológica, ubicada en la vertiente oriental de la cordillera de la costa y los sectores no regados del valle central, es una superficie que abarca 1.600.000 ha, donde la topografía predominante es levemente ondulada a fuertemente ondulada, con pendientes que en muchos casos limita o restringe el uso de los suelos para determinados cultivos o prácticas agrícolas en un sistema productivo intensivo.

De acuerdo a la geomorfología y el régimen pluviométrico de Chile, se sitúa a la erosión hídrica como la primera causa de degradación de los suelos, específicamente entre Valparaíso y Concepción en la Cordillera de la Costa, sector que incluye la ubicación del Centro agroecológico CET.

El año 2001 se formó el Plan Nacional de Extensión Forestal, en consecuencia, se generó un estímulo al campesino para forestar suelos que se encontraban degradados, donde se consideraron subsidios para ello. Así por ejemplo, dentro del plan de Desarrollo Comunal de Empedrado (2008-2012) se definieron lineamientos estratégicos que permitieran la participación de los campesinos en la elaboración de las estrategias forestales de desarrollo sustentable bajo el Plan Nacional de Extensión Forestal, la respuesta a esto, sería que el Estado está “preocupado” por el desarrollo rural, por lo cual, direcciona sus esfuerzos para fortalecer los territorios rurales con su componente social, productivo y ambiental, evitando así la migración campo-ciudad de la población con todos los efectos negativos que ello tiene, tales como la concentración de la propiedad, la pérdida de identidad cultural y el deterioro ambiental, a través de la forestación. En conclusión, la forestación es otro sistema que ha reemplazado suelos rurales como estrategia de

combate de la migración campo-ciudad y podría ser considerado uno de los problemas que ha tenido que afrontar la agricultura campesina.

De acuerdo a la Estrategia de Desarrollo Regional del Biobío (2008-2015) se hace énfasis en la protección de nuestros recursos naturales, priorizando el sector forestal. Mientras que la Estrategia de Desarrollo Regional del Maule (2020), considera la erosión del suelo un problema grave dentro del ámbito ambiental pues está dentro de las 7 regiones con daño severo y en cuanto a fertilidad, es la única región con daño muy severo, cabe mencionar que se propone como meta regional promover y fomentar la pequeña agricultura campesina.

Es indudable que las grandes extensiones de terrenos erosionados están estrechamente ligadas a la fragilidad de los ecosistemas. Por otra parte, una proporción importante de terrenos en uso agropecuario continúan siendo destinados a la siembra o establecimiento de cultivos tradicionales específicos, para la satisfacción de necesidades básicas y económicas de corto plazo, sin considerar las variables de sustentabilidad ambiental que demanda el uso de tales recursos. Además, existe una fuerte expansión de las plantaciones forestales de *Pinus radiata* y *Eucaliptus* sp. La expansión de la actividad forestal se realiza en desmedro de la actividad agrícola y produce una desarticulación de la estructura rural de esta zona. Además de la expansión de la actividad forestal se está produciendo un fenómeno rural en que familias urbanas adquieren terrenos de campesinos para fines de recreación. Muchos de los integrantes de las familias campesinas se emplean en estas parcelas de agrado, las cuales no tienen una orientación productiva. La comuna de Yumbel según el Índice de Desarrollo Humano de PNUD está dentro de las 10 comunas más pobre del país. Las familias campesinas están insertas en el minifundio individual, sus preocupaciones son la pobreza producto del deterioro ambiental, los terremotos, la crisis de la agricultura, la migración de los jóvenes a la ciudad y el apoyo gubernamental, mas desde el paternalismo y el subsidio que desde el plan de desarrollo fuerte y a largo plazo, aspecto que se reflejan en todos los ámbitos de la comuna, vivienda, salud, educación, empleos, caminos, etc. Las familias por décadas han sufrido con el analfabetismo, alcoholismo, mala dieta alimentaria y en general una baja calidad de vida. Entorno a la agricultura sus limitaciones económicas son derivadas principalmente del bajo nivel de productividad del suelo y la falta de

agua, el bajo precio de los productos, la poca diversidad productiva, los pobres canales de comercialización puesto que se dependía principalmente de los intermediarios y el alto costo de los insumos. Los últimos años se han hecho más comunes y continuas las sequías agravadas por la baja retención de humedad del suelo. Además se ha dificultado predecir el clima, sumado a lo inestable de las estaciones y por ello lo frágil que es la producción agrícola.

2.6. El Centro de Educación y Tecnología, CET.

El Centro de Educación y Tecnología, CET, es una Corporación sin fines de lucro, la cual ha llevado a cabo programas de desarrollo sustentable con comunidades campesinas en diversas regiones del país. Uno de estos programas está ubicado en la Región del Bio Bio. Su misión institucional ha sido el Desarrollo Rural Sustentable y la formación de los agentes de desarrollo rural desde una perspectiva humana y agroecológica. Sin embargo, para desarrollar su trabajo es esencial contar con un lugar donde fuera posible demostrar a los distintos actores (productores, profesionales, estudiantes, políticos, etc.) su propuesta agroecológica. De esta forma, desde el año 1995 cuenta con un Faro Agroecológico o Central de Demostración y Capacitación de 23 Ha, donde se plasma la propuesta agroecológica para el pequeño productor.

Este predio pertenece al Arzobispado de Concepción, el cual está cedido en Comodato a CET. Esta se encuentra en Sector Cruce Reunión (carretera Cabrero-Concepción) con oficinas totalmente equipadas, salas de capacitación, biblioteca, internado (Hogar del Aprendiz) y 7 ha con manejo Agroecológico donde se han establecido rotaciones de cultivo, hortalizas, frutales, hierbas medicinales, huerto urbano, tecnologías solares, invernaderos familiares y comerciales, sistemas de reciclaje, lombricultura, huerto frutal multidiverso, sistemas de cosecha de agua y riego tecnificado, métodos de conservación de suelos, animales menores, tecnologías apropiadas, etc.

Esta Central es un sitio ideal para entender, aprender y reconocer las bondades de la aplicación de manejos agroecológicos en un predio campesino. Esto ha permitido que miles de personas visiten año a año este Centro, único en la región, y dentro de los pocos que existen en el país. Es así como esta Central se ha convertido en un punto importante dentro del trabajo que desarrolla CET en la región y el país, donde sus diversos programas, tanto de asesorías, capacitación y formación, dependen de este centro para desarrollarse. Las inversiones aquí implementadas se han obtenido principalmente con recursos propios, con la ayuda de algunos proyectos que han permitido hacer mejoramientos e inversiones mayores y con las jornadas prácticas realizadas en los cursos implementados. Iniciativas públicas y privadas como Proempleo, Fundación ANDES y Fundación AVINA son algunos de los que han apoyado inversiones.

Los pequeños productores rurales son quienes más visitan la central, mediante los diversos programas del INDAP junto al Municipio (PRODESAL) y de ONGs. Ellos recorren el predio y conocen las distintas alternativas de producción, conversan sus perspectivas, sus posibilidades y planean lo que desean profundizar con sus asesores.

Desde hace años, ha sido un referente importante del Programa del FOSIS de Producción para el Autoconsumo, donde CET asesora y capacita al personal tanto de FOSIS Nacional como de los equipos ejecutores, y ha recibido a gran cantidad de familias beneficiarias del programa.

Igualmente, se hacen jornadas Abiertas en temáticas como Manejo del Agua mitigación de la Sequía, Manejo de la biodiversidad, Erosión y conservación de suelo, Reciclaje y preparación de insumos prediales. Lo anterior, debido a que esta Central cuenta con todos los elementos que se implementan en estos programas.

2.6.1 Principios ecológicos aplicados en el CET.

1. **Aumentar la diversidad de especies:** El diseño y el manejo a través de los años debe permitir el aumento fuerte de la biodiversidad funcional. Huertos hortícolas intensivos, rotaciones de cultivos, sistemas agroforestales, huertos polifrutales, huertos de hierbas medicinales, plantas trampa, cercos vivos y cordones biológicos son parte de las estrategias para el aumento de la diversidad.
2. **Aumentar la longevidad del agroecosistema:** A pesar de las dificultades ambientales es posible establecer varias especies que le den larga vida a los ecosistemas con plantas forestales, frutales, pastos permanentes (falaris, vetiver, ballicas perennes, etc.)
3. **Establecer barbechos:** para restablecer la fertilidad de estos suelos tan degradados es posible establecer barbechos cubiertos, con leguminosas y gramíneas naturalizadas, las cuales se mantienen en las rotaciones largas.
4. **Incorporar mas materia orgánica:** Manejo fundamental del predio, se trata de reciclar todas las materias vegetales sean ellas provenientes de la cocina, rastrojos de cultivos, restos de podas, cortas de pastos y malezas, restos forestales, etc.
5. **Aumentar la diversidad del paisaje:** El predio debe establecerse con un mosaico de diferentes sectores agrodiversos. Se puede trabajar para el establecimiento de sistemas agroforestales y rotaciones de cultivos con especies locales y siguiendo prácticas tradicionales.
6. **Establecer mecanismos de conservación de suelos:** El predio se puede establecer una serie de técnicas y prácticas que reduzcan la erosión, mejoren las condiciones físicas, biológicas y químicas del suelo.

2.6.2 Subsistemas productivos presentes en el diseño del CET.

El diagnóstico realizado con la participación de la comunidad, logra resaltar cuales son en concreto las necesidades principales y a través de ellos en comunidad se comienza un diseño acorde a este fundamento. Es así como para familias del secano el mejoramiento de la alimentación, traducido en la producción para el autoconsumo en huertos orgánicos, mejoramientos de frutales, crianza de animales menores, conservación de alimentos y tecnologías apropiadas son elementos muy solicitados. La idea es además limitar la entrada de nueva tecnología, más bien es rescatar los conocimientos locales mezclándolos con algunas técnicas agroecológicas. A continuación se presenta un cuadro que detalla esa sinergia entre lo que la comunidad diagnosticó y los aportes agroecológicos enfocados en el diseño del agroecosistema.

Tabla1. Conocimientos campesinos y aportes agroecológicos para los diferentes sistemas productivos presentes en un diseño predial

Tema y objetivos	Acciones	Conocimientos y practicas campesinas	Aportes agroecológicos
Producción de hortalizas Aumentar la cantidad, calidad, cosecha durante todo el año (en especial en invierno) y diversidad de hortalizas para consumo familiar	Preparación de suelo Abonos orgánicos Invernaderos Almácigos Desinfección de suelos semillas Riego Planificación de siembras Manejo de plagas y enfermedades	Preparación suelo superficial Uso de guanos frescos y abonos líquidos Uso de productos químicos Semillas locales Siembras en asociación o policultivos Recetas locales de biocidas	Preparación de bancal profundo Compostaje Evitar uso de agroquímicos Uso de plásticos como túneles e invernaderos Nuevas recetas de biocidas Identificación de Insectos benéficos
Producción de frutas Aumentar la cantidad, calidad y diversidad de fruta para	Podas Fertilización Manejo de plagas y	Técnicas de propagación Fertilización con guano	Nuevas técnicas de poda e injertos Compostaje de guano

consumo familiar	enfermedades Compra y nuevas plantaciones	Algunas recetas de biocidad Cosecha	Propagación de frutales Nuevas recetas de biocidas Identificación de Insectos benéficos
Crianza de animales menores Aumentar la disponibilidad de proteína animal a bajo costo Aves, cerdos y conejos	Reproducción Alimentación Sanidad Infraestructura Razas apropiadas	Reproducción Alimentación con recursos prediales Remedios caseros Razas criollas	Infraestructura adecuada con elementos del predio Alimentación balanceada Manejo sanitario básico Cruce razas mejoradas y criollas
Apicultura Producir miel en forma eficiente, segura y disminuyendo la mortandad de las abejas	Sistemas de crianza Manejo sanitario Manejo invernadas Técnicas de cosecha	Crianza rustica	Carpintería apícola Sanidad Manejo general Técnicas de cosecha Preparación de biocidas naturales
Alimentación y conservación de alimentos Mejorar la dieta familiar, uso mas eficiente de los productos agrícolas y aumentar la diversidad y disponibilidad de los alimentos	Dietas Recetas nutricionales Diversidad Conservas, mermeladas, fruta al jugo	Dieta campesina Recetas criollas Técnicas sencillas de conservación Preparación de alimentos	Nuevas recetas Técnicas de conservación, higiene y almacenamiento Diversificación de alimentos
Tecnologías apropiadas Mejorar condiciones de vida, seguridad y aumentar la eficiencia del uso de recursos	Hornos, secadores, cocinas de barro, bombas manuales	Herramientas básicas Alta capacidad de trabajo con madera y barro.	Uso de materiales del predio para la construcción Técnicas de construcción y manejo

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio.

El estudio se llevó a cabo en la central demostrativa del CET, ubicada en la comuna de Yumbel, provincia de BíoBío, Región del BíoBío (región que integra la Macrozona Centro-Sur del país) (Figura 5).

El predio del CET se encuentra a 10 km de la ciudad de Yumbel, a 50 km de la ciudad de Concepción y a unos 18 km de la carretera 5 Sur.

La comuna se localiza geográficamente aproximadamente entre las coordenadas $36^{\circ}55'$ de latitud sur y $72^{\circ}26'$ y $72^{\circ}34'$ de longitud oeste. Su emplazamiento corresponde a un sector de transición entre la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa y la franja occidental de la Depresión Intermedia, al norte del río Laja. Aproximadamente, el 60% de su territorio pertenece al ámbito de la Cordillera de la Costa y un 40% a la Depresión Intermedia. Desde el punto de vista de la asociatividad funcional y productiva, esta comuna forma parte del territorio de planificación denominado “Secano Interior” de Concepción y BíoBío (PLADECO, 2013).



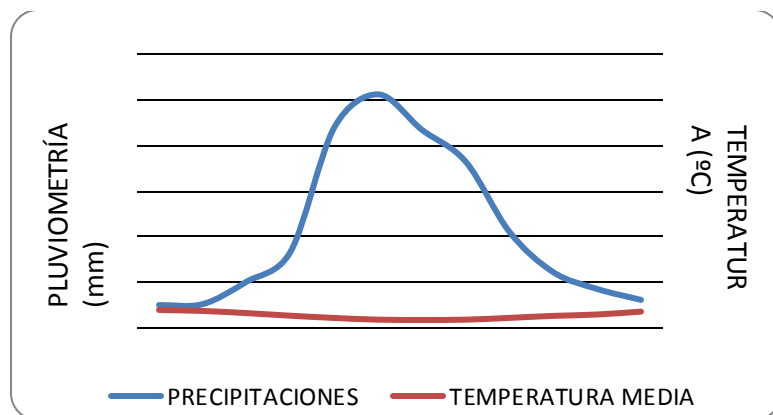
Figura 5. Ubicación de la localidad de Yumbel y la central demostrativa del CET.

3.2 Características edafoclimáticas.

Las condiciones climáticas de la comuna de Yumbel se encuentran fuertemente afectadas por el factor orográfico de la Cordillera de la Costa y la presencia cercana del Valle del Biobío. Ambos factores ejercen influencia sobre las precipitaciones y temperaturas. Se ha definido el clima de esta zona como clima mediterráneo (templado cálido), de fuerte amplitud térmica, con 6 meses secos (desde Octubre hasta Marzo). Las precipitaciones presentan niveles cercanos a los 1100 mm anuales, concentrándose el 75% del agua caída entre Mayo y Septiembre (Maldonado, 2004). Esto determina que el agua disponible para los cultivos dure hasta Octubre. El Índice de Humedad (IH) durante todo el verano, es menor que 0,5, lo que significa que en esta época hay déficit hídrico (Del Pozo y Del Canto, 1999). El mes más seco es Enero con 16 mm, mientras que el mes más lluvioso es Junio con 256,4 mm. La temperatura media anual es de 13,7°C, siendo la media del mes más cálido (Enero) de 20,6°C y la media del mes más frío (Julio) de 8,2°C (Figura 6). Yumbel normalmente no presenta temperaturas bajas tan extremas, siendo frecuentes las heladas en los meses de Agosto y Septiembre (PLADECO, 2013).

Además de las heladas que afectan a los cultivos de la zona, la concentración de las lluvias y los contrastes térmicos entre invierno y verano, son el principal factor que influye en la erosión y degradación de los suelos en laderas de la Cordillera de la Costa (abundante presencia de canaliculos y cárcavas).

Figura 6. Climograma de Yumbel. Fuente: Elaborado por el autor con datos obtenidos de CORFO (1965).



Los suelos que predominan en el predio del CET corresponden a Alfisoles de la Serie Cauquenes. Son suelos derivados de rocas graníticas que ocupan posiciones de cerros con pendientes muy abruptas o sectores intermedios en lomajes con pendientes suaves a moderadas.

Son suelos moderadamente profundos, de textura franco arcillo arenosa, con bajos niveles de macronutrientes y materia orgánica. El pH es normalmente inferior a 6. Además, presentan una muy baja capacidad de retención de humedad, aproximadamente de 8% (Del Pozo y Del Canto, 1999).

Estos suelos son altamente susceptibles a la erosión hídrica y actualmente se encuentran muy degradados. La intensa erosión de impacto, flujo precanalizado y canaliculos ha producido un horizonte A delgado o superficial, e incluso la pérdida de casi la totalidad del horizonte B o subsuelo (“suelos decapitados”). Esta situación ha dejado a la vista horizontes de texturas arcillosas, estructuras más pobres y coloración pardo rojiza (Stolpe, 2011). Los suelos son agrupados en la Clase VI y Clase VII de uso, ya que presentan serias limitaciones que restringen el establecimiento de cultivos, de modo que su aptitud se limita al crecimiento de pradera y uso forestal (PLADECO, 2013). Sin embargo, los sectores de lomajes son aptos para el cultivo de algunos cereales (avena, trigo, centeno, cebada) y viñas en pendiente (Ovalle y Del Pozo, 1994).

3.3 Herramientas para Calcular la Eficiencia Energética.

Dada la necesidad que existe de evaluar y documentar los resultados que se han obtenido en la implementación de sistemas agroecológicos, así como de analizar las brechas existentes en cuanto a la eficiencia en los modelos convencionales y especializados de producción, se presentan las bases del cálculo y análisis disponibles para lograr estos objetivos. La metodología consta de dos componentes fundamentales:

- 1) **Planilla para la captura de los datos** (tabla 3), que recoge los elementos necesarios para calcular la eficiencia energética: área del sistema productivo (parcela, finca, cooperativa,

municipio, provincia o país); tipo y cantidad de los alimentos o productos obtenidos; y gastos energéticos directos o indirectos de la producción, entre ellos la fuerza de trabajo humana y animal, combustibles, fertilizantes, etcétera.

2) **Sistema computarizado ENERGÍA 3.01**, que facilita las operaciones de cálculo y ofrece un resultado rápido que refleja cuál es la eficiencia en el uso de la energía de un sistema productivo, así como la cantidad de personas que puede alimentar tomando en cuenta las producciones obtenidas y los insumos utilizados. Aquí se ofrecen indicaciones para el procedimiento del cálculo y evaluación de la eficiencia energética y las diferentes variantes de análisis e indicadores.

3.3.1 Herramienta de Desarrollo del Software Energía 3.01.

En este punto se presentan las características del software a utilizar en el estudio, que se a elegido por su funcionalidad flexibilidad y fácil manejo.

Cuadro 4. El paquete de instalación de Energía 3.01 contiene los siguientes componentes:

Componente	Especificaciones
Carpeta "windowsinstaller3_1"	Contiene el instalador del componente Windows Installer 3.1
Carpeta "sqlexpress"	Contiene el instalador del componente SQL Server 2005 Express Edition
Carpeta "dotnetfx"	Contiene el instalador del componente .Net Framework 2.0
Energía 3.01.msi	Contiene los archivos de la instalación de la aplicación Energía 3.01 (empaquetado)
Archivo "setup.exe"	Archivo instalador de la aplicación Energía 3.01

Energía 3.01 es un software para almacenar y procesar datos sobre el funcionamiento energético del agro ecosistema. Los datos provienen de muestreos que se realizan para determinar las cantidades de insumos y productos que se consumen y producen en un agroecosistema durante un año. Con los datos se calculan parámetros del balance energético y se

realizan tratamientos gráficos. Los resultados se pueden exportar en diferentes formatos de archivos.

Los datos se almacenan en una base de datos y están disponibles en forma de tablas en formularios. En los formularios se pueden agregar datos nuevos, modificar los datos existentes o eliminarlos. Tienen opciones para filtrar los datos y mostrar solo los que cumplen con ciertos criterios. Existe un formulario especial para realizar búsquedas de datos en toda la base de datos.

Los datos se procesan para calcular parámetros del balance energético. Los resultados se pueden mostrar con diferentes niveles de agrupamiento y se pueden establecer filtros para mostrar solo los datos que cumplen con ciertos criterios. La salida de los resultados de los cálculos se puede hacer en forma de tablas o de gráficos. Estos se pueden exportar como archivos de otras aplicaciones o copiar directamente en documentos de estas.

3.4 Organización de Datos Para Evaluar Eficiencia Energética.

Los datos en la base de datos de Energía 3.01 están divididos en dos categorías principales: codificadores e indicadores.

Los codificadores

Consisten en tablas de datos que contienen:

- 1- La lista de los países donde están ubicados los agroecosistemas.
- 2- La lista de los agroecosistemas (llamados “sistemas de producción”) que van a ser estudiados y por lo tanto muestreados.
- 3- La lista de todos los insumos que se pueden encontrar en los muestreos.
- 4- La lista de todos los productos que se pueden encontrar en los muestreos.
- 5- Los requerimientos nutricionales humanos.

Son tablas de datos donde cada fila de datos es un elemento codificador (sistema de producción, insumo, producto o requerimiento), y cada columna es un campo de datos o característica del codificador.

Estos datos se van introduciendo y se mantienen en la base de datos para ser usados cada vez que sea necesario. Por ejemplo, un insumo que aparece en varios muestreos solo se agrega a la lista de insumos una vez: la primera vez que aparezca en un muestreo.

Los indicadores

Consisten en:

- 1- Los muestreos que se realizan anualmente sobre cada agroecosistema o sistema de producción.
- 2- Los gastos de insumos que se refleja en cada muestreo.
- 3- Las producciones de productos que se reflejan en cada muestreo.

Son tablas de datos donde cada fila de datos es un elemento indicador (muestreo, gasto, producción), y cada columna es un campo de datos o característica del indicador.

Estos datos se incrementan en el tiempo con mayor velocidad que los codificadores. Por ejemplo, cada nuevo muestreo implica una nueva fila de datos independientemente de que se realice sobre el mismo sistema de producción por que será en un año diferente.

3.4.1 Construcción de Informes.

Los procesamientos de los datos conducen al cálculo de varios parámetros del balance energético. El programa muestra los resultados en informes que contienen tablas de datos y gráficos. Para construir los informes existe un asistente que ayuda al usuario a seleccionar los datos que desea mostrar y a configurar las características del informe.

3.4.2 Planilla Para la Captura de Datos.

Datos necesarios para el cálculo de la eficiencia productiva y energética de la producción agropecuaria (ANEXO Tabla 2,3,4,5).

DATOS GENERALES

Nombre de sistema productivo en estudio (parcela, finca, cooperativa, granja, etc.):

Período de análisis (ciclo de cultivo, semestre, año, etc.):

Área total de la unidad (ha):

Los periodos usados fueron año 1993, 2000, 2017, 2013.

Factores de conversión y equivalencia energética.

Fuente: World Energy Council (WEC, 2009).

Unidades energéticas básicas.

1 joule (J) = 0.2388 cal

1 caloría (cal) = 4.1868 J

1 Kilocaloría = 0,004184 M/J.

El software Energía 3.01 se puede descargar junto a un manual de instrucciones para su instalación y uso en la página www.cambio2.org.

4- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Registro de datos de los cuatro años en estudio del centro agroecológico CET.

En el cuadro 5 se presenta un resumen de los datos utilizados para el análisis de los parámetros energéticos del Centro de Agroecología, los cuales fueron procesados en el software Energía 3.01.

Cuadro 5. Resumen de información de manejo y producción del centro agroecológico CET.

Muestreos	hrs Animal	hrs Hombre	Fertilización Orgánica kg/ha	Fertilización Foliar l/ha	Mts2 Cultivados	Producción de caloría	Producción de Proteína
Año 1993	12,01	96,83	48.687	77,89	16.229	1.428	78,8
Año 2000	12,58	211,30	21.075	33,72	17.025	1.787	91,7
Año 2007	13,24	244,55	22.335	35,73	17.445	1.817	92,3
Año 2013	13,46	582,71	27.675	44,28	19.227	2.253	99,2

Fuente: Registro de actividades e insumos CET.

A partir del año 1993 el CET comienza a desarrollar una propuesta Agroecología de la cual se destinan 16,229 mt², para producir diversas especies, se generan registros de las actividades en las distintas aéreas de producción. Es así como dentro de estos metros cuadrados se establecen 4 aéreas de cultivos: frutales, hortalizas, cereales y una hectárea forestal. En el anexo 1 se podrá ver con más detalle todos los datos acá resumidos, además de las especies cultivadas, los rendimientos, los insumos y las horas de trabajo tanto animal como jornadas hombres invertidas en cada año agrícola en estudio.

Las áreas productivas se implementaron bajo técnicas agroecológicas las cuales se mencionan en el punto 3.3.2 (tabla 1), del presente estudio. Como podemos observar en el cuadro 5 a medida que pasan los años aumenta la superficie de producción y también la diversidad de especies presentes, dando también un aumento en los aportes de proteínas y calorías del sistema

A partir de estos datos obtenidos del Centro Agroecológico se realizan los análisis de los parámetros de eficiencia energética utilizando el software Energía 3.01

4.2. Informes de parámetros de balance energético.

En el cuadro 6 se presenta el cálculo de eficiencia energética para el predio del Centro Agroecológico CET, de los años 1993, 2000, 2007 y 2013. El informe arrojado por el software nos da de forma individual los resultados para cada año. En este cuadro se resumen los datos de los 4 años en estudio.

Cuadro 6. Informes de Parámetros Energéticos de los años 1993, 2000, 2007 y 2013 del predio CET.

Parámetros de Informes de Energía 3.01	Muestreo Año 1993	Muestreo Año 2000	Muestreo Año 2007	Muestreo Año 2013
Sistema de Producción	CET año 1	CET año 2	CET año 3	CET año 4
Área (ha)	1,62	1,70	1,74	1,92
Intensidad de la fuerza de trabajo (Horas/ha)	59,77	123,93	140,44	303,21
Energía insumida (MJ/ha)	3,60	3.932,79	4.077,02	4.721,52
Rendimiento productivo (Toneladas/ha)	0,55	2,93	3,83	4,97
Energía producida (MJ/ha)	1.894	7.760	9.975	11.598
Proteína producida de origen vegetal (Kg/ha)	21,6	78,9	98,5	117,4
Personas que alimenta de acuerdo a requerimientos de Energía (Personas/ha)	0,6	2,4	3,1	3,6
Personas que alimenta de acuerdo a requerimientos de proteína de origen vegetal (Personas/ha)	1,9	6,9	8,6	10,2
Costo energético de la proteína (MJ/kg)	166,7	49,8	41,3	40,2
Productividad energética del trabajo (Horas/MJ)	0,03	0,01	0,01	0,02
Productividad proteica del trabajo (Horas/kilogramo)	2,76	1,57	1,42	2,58
Balance energético	0,52	1,97	2,44	2,45
Intensidad energética (Megajoules/unidad)	6,462	1,342	1,064	0,950

Adaptado del Informe Energía 3.01

Todos los parámetros evaluados en este informe muestran un aumento significativo en la medida que transcurren los años. A través de este informe se puede distinguir claramente si el predio en estudio es energéticamente eficiente o no, también presenta en un desglose simple cuales son todos los parámetros que influyen en los resultados del balance energético. De esta forma se pueden ir mejorando las áreas menos eficientes y así optimizar los rendimientos del predio

logrando una mejor eficiencia en el uso de la energía. Para efectos de este estudio sólo se analizarán las siguientes áreas: Balance energético, Energía Insumida y Energía Producida, Producción de Proteína Personas que alimenta y costo Energético de la producción de Proteína.

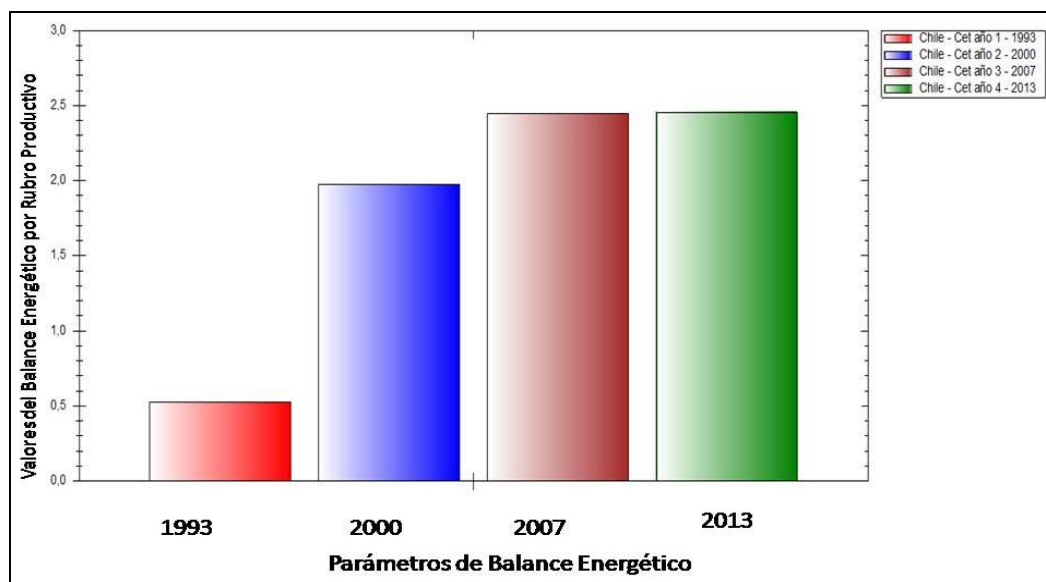
4.3.- Indicador del Balance Energético (Megajoules/kg).

Los valores del Balance Energético de los muestreos están determinados por las entradas y salidas de recursos e insumos del sistema productivo en unidades energéticas (MJ/kg). En el cuadro 7 podemos ver que a partir del segundo muestreo los índices de eficiencia son mayores que uno, lo que significa que las salidas energéticas son mayores al consumo energético del sistema y por ende indican sistemas agrícolas eficientes energéticamente y sostenibles ecológicamente

Cuadro 7. Balance Energético Centro Agroecológico CET.

Muestreos	Balance energético MJ/Kg
Cet año 1 - 1993	0,526
Cet año 2 - 2000	1,973
Cet año 3 - 2007	2,447
Cet año 4 - 2013	2,457

Figura 7. Grafico Valores del Balance energético por año muestreado.



Cabe señalar que los niveles de eficiencia de un sistema dependen principalmente del diseño y manejo de los componentes que lo conforman. La ventaja de un sistema basado en la diversidad y a menor escala reside fundamentalmente en que su diseño permite una integración armónica y funcional entre sus componentes y un mayor “control” de las interacciones presentes. En ocasiones existen recursos que son deficientes o poco utilizados, por ejemplo, la energía solar, el agua o los nutrientes, porque el sistema no está concebido para tal fin.

Por lo general, esto ocurre debido al desconocimiento de las combinaciones apropiadas ganadería-agricultura y de los sistemas de rotación más adecuados que permitan capturar estos recursos. Una vez que están disponibles y son capturados de forma eficiente, el sistema debe ser capaz de convertir la energía en biomasa (alimento humano), desempeñar otras funciones (mejorar el suelo, alimentar a los animales o generar empleo) e incluso cumplir objetivos espirituales, ambientales o simplemente paisajísticos, lo cual es llamado multifuncionalidad. De esta forma se logrará una integración entre los factores biofísicos y de manejo que permitirá una producción sustentable, no solo desde el punto de vista productivo, sino también desde el ambiental y el socioeconómico.

4.4. Parametros de Blance Energetico según la Produccion Neta de Energia (PNE).

Los parámetros de eficiencia energética consideran la diferencia entre energía insumida y energía producida, indicando la productividad energética (PE), es decir, los kilogramos de cosecha producidos por unidades de energía invertida. El primer año (1993) da como resultado 3,6 MJ/ha para producir 1,8 MJ/ha de energía dando como resultado una producción neta de energía negativos. Esto se refleja en el balance energético, (cuadro 7) donde se indica un balance de 0,5.

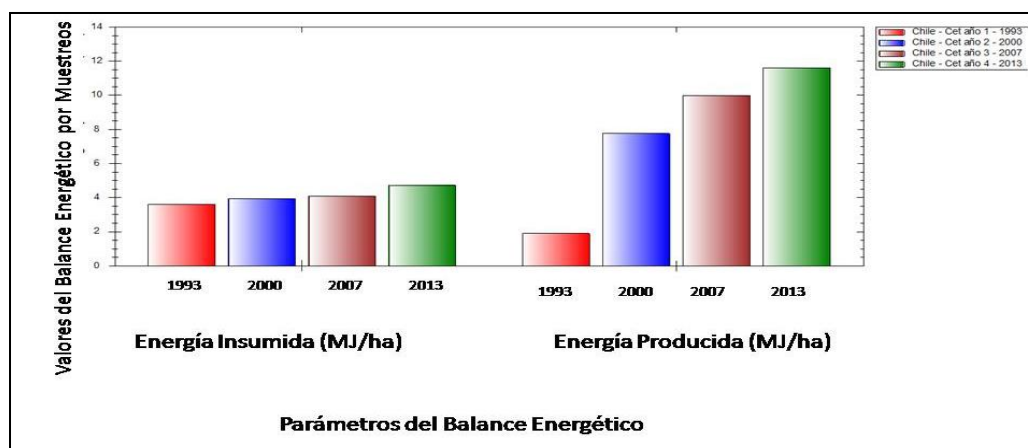
Cuadro 8. Parámetros de Energía Insumida y Energía Producida en los 4 muestreos

Muestreos	Energía insumida (Megajoules/ha)	Energía producida (Megajoules/ha)	Producción Neta de Energía (PNE)
Cet año 1 - 1993	3.603	1.894	-1.709
Cet año 2 - 2000	3.932	7.760	3.828
Cet año 3 - 2007	4.077	9.975	5.898
Cet año 4 - 2013	4.721	11.598	6.877

La energía insumida corresponde a la energía que entra al sistema. En el cuadro 8 podemos ver como aumenta en cada muestreo generado principalmente por el aumento en la superficie cultivada. Sin embargo podemos ver (según el cuadro 5) un aumento en las horas de trabajo hombre y fertilización aplicadas en todos los muestreos. También observamos que no hay costos energéticos en combustibles o uso de maquinarias ya que el sistema utiliza el trabajo animal para estas labores, además del no uso de fertilización nitrogenada, lo que hace disminuir a su vez la energía insumida o entrante en el sistema.

En los años 2000, 2007 y 2013 podemos ver que la energía insumida es menor a la energía producida, es decir la productividad energética (PNE) en estos años es positiva y a la vez aumenta en el tiempo.

Figura 8. Parámetros de Energía Insumida y Energía Producida en cada muestreo



El Centro Agroecológico, con el paso de los años, la implementación de las tecnologías apropiadas y sobre todo con la mejora de la calidad del suelo. La contribución de los abonos orgánicos, leguminosas como fuente de aportes nitrogenados a los cultivos, la contribución de los restos de cosecha, el uso de abonos verdes, devolviéndole así la vitalidad al suelo y activando las propiedades físico- químicas de este. Cabe mencionar que fertilizantes minerales nitrogenados suponen más de la mitad del costo energético de los cultivos y de ahí la importancia de hacer un uso eficiente de ellos en cualquier Programa de Ahorro y Eficiencia Energética.

4.5. Costo Energético de la producción de Proteína y la Eficiencia Energética.

El total de personas que alimenta un predio es un proceso interno del software Energía 3.01, que es el cociente de dividir la producción total del predio entre los requerimientos nutricionales para una persona adulta promedio, ya sea tomando en consideración las producciones energéticas y proteínas en sentido general, calculadas por el programa a partir de los valores estandarizados para las diferentes aéreas de producción dentro del predio.

Los requerimientos proteicos de una persona promedio están designados por El Instituto de Nutrición y Tecnología de los alimentos (INTA, 1999). Este requerimiento se basa en la estatura y contextura propia de los habitantes de este país y corresponde a: 28,7 kg al año de proteína, de este total deben ser 17,2 kg proteína de origen vegetal al año y 11,5 kg proteína de origen animal al año.

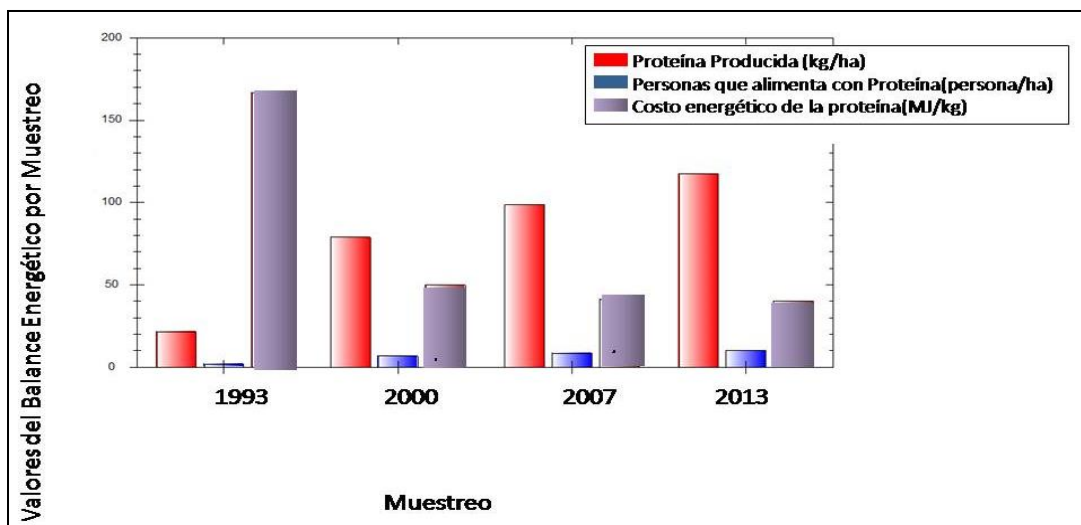
Según esto y los rendimientos proteicos del estudio podemos ver que en todos los muestreos genera un aporte en proteínas siendo el primer muestreo el más bajo con sólo la capacidad de alimentar a una persona (cuadro 10). Sin embargo, desde el segundo muestreo el predio es capaz de alimentar a una familia promedio, la cual según SENCE 2013, está compuesta por 4 personas.

Cuadro 10. Producción de Proteína, Personas que alimenta y costo de la Proteína.

Muestreos	Proteína producida (Kg/ha)	Personas que alimenta con proteínas (Personas/ha)	Costo energético de la proteína (Megajoules/kg)
Cet año 1 - 1993	21,61	1,879	166,76
Cet año 2 - 2000	78,94	6,865	49,81
Cet año 3 - 2007	98,56	8,571	41,36
Cet año 4 - 2013	117,42	10,211	40,21

Los costos energéticos nos indican como el sistema productivo en sus inicios son extremadamente altos en comparación con los siguientes muestreos. Esto quiere decir que para 21,6 kg de producto se utilizaron 166,7 MJ en energía, dando una eficiencia negativa

Figura 10.



El número de personas que un predio es capaz de alimentar no está demasiado relacionado con su balance energético. Si se tiene en cuenta un buen balance nutricional y las variedades de alimentos, se pueden elaborar platos que brinden una dieta balanceada, que no se base solamente en la obtención de proteínas de origen vegetal y, por consiguiente, no ponga en riesgo el balance energético del predio. Además, se puede deducir que un ecosistema puede alimentar a muchas personas y estar desbalanceado energéticamente.

5.CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, y en base a la discusión desarrollada, es posible concluir que:

Al determinar la Eficiencia Energética del predio de los 4 años muestreados se observa un aumento significativo presentando tres de los muestreos con valores positivos. Por lo tanto se puede decir que, según los datos arrojados por el software 3.01, el predio CET aumenta su eficiencia energética según se va implementando con técnicas agroecológicas

Al determinar la cantidad de personas que alimenta según la producción de proteína y energía generada por el predio queda demostrado que a pesar de las condiciones edafoclimáticas el predio a partir del segundo muestreo ya es capaz de alimentar, según los requerimientos de proteína, a una familia promedio, compuesta por 4 personas, y a partir del cuarto muestro puede alimentar a una familia según los requerimientos de energía.

Comparando la eficiencia energética, según lo citado en la revisión bibliográfica, de los sistemas productivos convencionales versus los resultados del estudio se puede decir que el predio agroecológico logra un balance positivo.

Es posible Calcular la eficiencia en el uso de la energía de un sistema productivo, así como la cantidad de personas que puede alimentar en el aporte de proteínas y energía de un predio, tomando en cuenta las producciones obtenidas y los insumos utilizados, a través del software CEDECO Energía 3.01. Siendo para esto necesario adaptar los datos del software a las características nutricionales de chilenas.

El uso de herramientas como este software son prácticas al momento de realizar programas de ahorro y eficiencia energética, como los propuestos a nivel de gobierno no solo en Chile sino en varios países a nivel mundial.

6.RESUMEN

En sistemas convencionales los costos energéticos de producción son muy elevados y la mayoría de las veces el balance energético es negativo. Es por esto que a través de este estudio se busca demostrar que bajo sistemas de manejo agroecológicos la Eficiencia Energética puede mejorar. El método utilizado para cuantificar los costos energéticos es el software Energía 3.01. Esta herramienta logra cuantificar los costos energéticos de 4 años en estudio, también obtiene el porcentaje de proteína generado y el número de personas que pueden alimentar según la energía y proteína requerida por un chileno promedio durante un año. En este estudio se utilizan los registros de 4 años agrícolas (1993,2000,2010,2013) del predio del Centro de Educación y Tecnología CET, La central demostrativa se encuentra ubicada en la comuna de Yumbel, provincia de Bío-Bío, Región del Bío-Bío. Los suelos que predominan en el predio corresponden a Alfisoles de la Serie Cauquenes. Son suelos moderadamente profundos, de textura franco arcillo arenosa, con bajos niveles de macronutrientes y materia orgánica. Además, presentan una muy baja capacidad de retención de humedad. Estas características de la zona han llevado a tener históricamente bajos rendimientos.

Se logra desprender de los informes entregados por el programa que el predio aumenta su eficiencia energética durante el tiempo y que a su vez aumenta sus rendimientos.

El uso de este software entrega información que fundamenta que las técnicas de manejo son las que definen que tan eficiente puede ser un predio productivo, si bien este no es un tema que sea considerado al momento de hacer los diseños prediales día a día ha ido tomando fuerza y se implementan nuevos sistemas sustentables, el uso de herramientas como este software son muy útiles para generar las comparaciones o evaluaciones de cuan eficiente se puede llegar a ser manteniendo la calidad y la productividad de los predios.

5. SUMMARY

In conventional systems the energy costs of production are very high and most of the times the energy balance is negative.

It is for this reason that through this study seeks to demonstrate that under agro-ecological management systems Energy Efficiency can be improved. The method used to quantify the energy costs is the Energy software 3.01 .This tool can quantify the energy costs of 4 years in the study, you also get the percentage of protein generated and the number of people who can feed according to the energy and protein required by a Chilean average during a year. In this study used the records of 4 agricultural years (1993,2000,2010,2013) the farm of the Center for Education and Technology CET, the demonstration center is located in the commune of Yumbel, province of Biobio, Biobio Zone. The soils that predominate in the venue correspond to Alfisols Series Cauquenes. Soils are moderately deep, sandy clay loam, with low levels of nutrients and organic matter. Also, present a very low capacity for moisture retention. These characteristics of the area have led to historically low yields. It is obtained from the reports submitted by the program that the property increases the efficiency of the energy in time and also increases yields. The use of this software delivers information that establishes that the management techniques are those that define that so efficient you can be a productive farm, While this is not an issue that is considered at the time of fastland designs to make the day-to-day has been gaining strength and deployed new sustainable systems, the use of tools like this software are very useful to generate comparisons or evaluations of how efficient you can get to be maintaining the quality and productivity of the farms.

8. LITERATURA CITADA

- ALTIERI M.** 1999. Agroecológica, bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo. 325 p.
- ALTIERI M** 2013. Agroecológica: Principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria, Revista Cultura orgánica, México, mayo-junio 2013. pág. 7.
- ALTIERI M. y Nicholls C.I.** 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. Publicado en la Revista Agroecología, Murcia- España No.3: 7-28.
- ALTIERI M.; FUNES F.; PETERSEN P.; MEDINA C.** 2011. Sistemas agrícolas ecológicamente eficientes para los pequeños agricultores. Foro Europeo de Desarrollo Rural 2011. Palencia, España. 27P.
- CAMINO, R; MULLER, S.** 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 128 p.
- CAM(BIO)2**, 2010, Investigación, Gases de Efecto Invernadero y Agricultura Orgánica. CEDECO. Costa Rica. 15P.
- CIEZA R.; FLORES C.** 2007. Sustentabilidad Económica y Eficiencia Energética de las Estrategias de Diversificación de Sistemas Productivos de la Cuenca del Salado, Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. La Plata. Buenos Aires. Argentina, 267p.
- CUSSÓ, X.; GARRABOU, R. Y TELLO, E.** 2006. Balances energéticos y usos del suelo en la agricultura catalana: una comparación entre mediados del siglo XIX y finales del siglo XX. Ministerio de Ciencia y Tecnología. España. 27 p.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA** (IICA). 1992. Tecnología y sostenibilidad de la agricultura en América Latina. Programa II Generación y transferencia de tecnología. San José, Costa Rica. 133 p. 58
- IDEA, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA,** 2007, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada. Madrid. 46 p.
- INFANTE A.; SAN MARTIN K.** 2004, Manual de Agroecología CET. Chile. 167 p.

FERNÁNDEZ, J. 1981. Balance energético de las explotaciones agrarias: Ponencia 2.2. XIII Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Madrid. 29 p.

FERNÁNDEZ, X. S; COLLAZO, A. J; CORRAL, J. A. 1997. Novas formas para medir a eficiencia: balances enerxético e tempos de reprodución. 1as Xornadas de Agroecoloxía: Lugo 1995. Edicións Fouse. Brasil.

FUNES MONZOTE, F., CASTRO J., RODRÍGUEZ N., GONCALVES A. 2008.

Especificaciones técnicas del Software Energía 3.0.1. Manual de usuario. 32p.

FUNES, F. 2005. Eficiencia energética de los sistemas agrícolas integrados ganadería/agricultura. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. Cuba.

FUNES F. 2009. Eficiencia energética en sistemas agropecuarios, Elementos teóricos y prácticos para el cálculo y análisis integrado, Estación Experimental “Indio Hatuey”, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior, Cuba.38p.

FLORES, C; SARANDÓN, S. 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de suelo durante el proceso de agriculturización en la región Pampeana de Argentina. Rev. Facultad de Agronomía. Argentina. 105 p.

GARCÍA, J. 1997. La Agricultura Ecológica en Costa Rica: situación actual y perspectiva. UNED. San José, Costa Rica. 47 p.

GOMEZ E.2012 Contribución de la producción vegetal a la seguridad alimentaria: necesidad de un nuevo enfoque de trabajo, Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), Córdoba.4P.

IGLIZZO, E. 1996. La sustentabilidad en la agricultura ¿Cómo evaluar y medir? , Agricultura Integrada INTA, Argentina 26(1): 1-15

JURY, G; URTEAGA, M; TALBO M. (1999) Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimenticia chilena. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Centro de Nutrición Humana Facultad de Medicina Universidad de Chile

MECO R.; LACASTA C.; MORENO M. 2011. Agricultura Ecológica en Secano, Soluciones Sostenibles en Ambientes Mediterráneos, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino , Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Ediciones Mundi-Prensa. España.700p

- NAREDO, J. M.; CAMPOS, P.** 1980. La energía en los sistemas agrarios. Agricultura y Sociedad N° 15. Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura y Pesca. España. 113 p.
- NICHOLLS C.; RIOS L.; ALTIERI M.** 2013 Agroecología y resiliencia socio ecológico: adaptándose al cambio climático. Legis S.A. Medellín Colombia.pag 1-17.
- SANCLEMENTE O.; PATIÑO C.; BELTRÁN L.**2001.Análisis del balance energético de diferentes sistemas de manejo agroecológico del suelo en cultivo del maíz.41 P.
- PIMENTEL D, STACHOW U., TAKACS D.A., BRUBAKER H.W., DUMAS A.R., MEANEY J.J, O'NEIL J.A.S., ONSI D.E., CORZILIUS D.B.** 1992. Conserving Biological Diversity in Agricultural/Forestry Systems. BioScience, 42: 354-362
- PIMENTEL, D.** 1980. Handbook of energy utilization in agriculture. CRC Press. Boca Ratón, USA.257P.
- PIMENTEL, D.; BERARDE, A; FAST, S.** 1983. Energy efficiency of farming systems: Organic and Conventional Agriculture. Agriculture, ecosystems and environment (9): 359-72.
- PIMENTEL, D.; CULLINEY, T.; BUTTLER, I.** 1989. Low input sustainable agriculture using ecological managements practices. Agriculture, ecosystems and environment 27(2): 3 – 24. 59
- PIMENTEL, D.** 1993 Economics and energetic of organic and conventional farming” Journal of Agricultural and Environmental Ethics. 6(1): 45-57.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA).** 1998. Una empresa con futuro: el desarrollo económico y las tecnologías ecológicas. The Regency Corporation Limited. Londres. 272 p.
- PUNTÍ, A.,** 1982, Balance energético y costo ecológico de la agricultura española. Agricultura y Sociedad, Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura. España. 230p.
- RIOS H. VARGAS D. FUNES F,** 2011, Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba.248p
- ROSELLÓ, J.; DOMÍNGUEZ, A.; GASCÓN; A.** 2005. Comparación del balance energético y de los costos económicos en cítricos y hortícolas valencianas en cultivo ecológico y convencional. Estación Experimental Agraria de Carcaixent. España.
- RUIZ J.** 1994.La Agricultura Sostenible como Alternativa a la Agricultura Convencional Conceptos y Principales Métodos y Sistemas, Córdoba, 173p.

ANEXOS

Tabla 2. Información del manejo producción del Centro Agroecológico CET, año 1993

Año 1993	hrs Animal	hrs Hombre	Fertilización Orgánica kg	Fertilización Foliar L	Semillas kg	mts 2 Cultivados	Producción	unidad	Producción de caloría	Producción de Proteína
Manzanas	0	44,649	675	1,08		225	250	kg	59	0,2000
Garbanzo	1,66	6,972	2490	3,984	10,8	830	20	kg	322	26,5
Habas	0,6	2,52	900	1,44	3,8	300	150	kg	110	7,6
Arvejas	2	8,4	3000	4,8	10	1000	80	kg	81	5,5
Trigo	1,66	6,972	2490	3,984	11,2	830	40	kg	364	10,3
Porotos	3	12,6	4500	7,2	5,04	1500	25	kg	326	20,6
Maiz	3	12,6	4500	7,2	5,04	1500	10	kg	86	3,2
Lechuga	0,056	1,350	84	0,134	0,004	28	160	unidades	13	1,3
Acelga	0,014	0,337	21	0,033	0,008	7	30	atados	19	1,8
Tomate	0,016	0,385	24	0,038	0,0005	8	120	kg	21	0,9
Aji	0,002	0,048	3	0,004	0,00005	1	20	unidades	27	0,9
Leña			30000	48		10000				
Total	12	97	48.687	78	46	16.229			1428	78,8

Tabla 3. Información del manejo producción del Centro Agroecológico CET, año 2000

Año 2000	hrs Animal	hrs Hombre	Fertilización Orgánica kg	Fertilización Foliar L	Semillas kg	mts 2 Cultivados	Producción	unidad	Producción de caloría	Producción de Proteína
Manzanas	0	44,649	675	1,08	0	225	120	kg	59	0,20
uva mesa	0	56,555	855	1,368	0	285	600	kg	63	0,60
membrillos	0	44,649	675	1,08	0	225	230	Kg	57	0,40
Garbanzo	1,66	6,972	2490	3,984	10,8	830	20	kg	322	26,50
Habas	0,6	2,52	900	1,44	3,8	300	600	kg	110	7,60
Arvejas	2	8,4	3000	4,8	10	1000	100	kg	81	5,50
Trigo	1,66	6,972	2490	3,984	11,2	830	150	kg	364	10,3
Porotos	3	12,6	4500	7,2	5,04	1500	30	kg	326	20,6
Maiz	3	12,6	4500	7,2	5,04	1500	20	kg	86	3,2
Lechuga	0,25	5,83	375	0,6	0,075	125	720	un	13	1,3
Acelga	0,034	0,792	51	0,081	0,084	17	80	atados	19	1,8
Tomate	0,106	2,471	159	0,254	0,03	53	800	kg	21	0,9
cebolla	0,04	0,932	60	0,096	0,106	20	850	un	38	1,2
ajo	0,07	1,632	105	0,168	0,3	35	300	un	149	6,4
espinaca	0,016	0,373	24	0,038	0,48	8	40	atados	23	3
apio	0,08	1,865	120	0,192	0,06	40	200	paquetes	16	0,8
pepinos	0,06	1,3992	90	0,144	0,2	30	100	unidades	13	0,5
aji	0,004	0,0933	6	0,0096	8E-05	2	30	unidades	27	0,9

leña						5	m3		
estacas							un		
Total hrs	13	211	21.075	34	47	17025		1787	91,7

Tabla 4. Información del manejo producción del Centro Agroecológico CET, año 2007

Año 2007	hrs Animal	hrs Hombre	Fertilización Orgánica kg	Fertilización Foliar	Semilla gr	mts 2 Cultivados	Producción total/año	unidad	Producción de caloría	Producción de Proteína
Manzanas	0	44,649	675	1,08	0	225	200	kg	59	0,2000
Frutillas	0	17,8596	270	0,432	0	90	250	kg	30	0,60
Uva de mesa	0	56,5554	855	1,368	0	285	850	kg	63	0,60
Membrillos	0	44,649	675	1,08	0	225	230	Kg	57	0,40
Garbanzo	1,66	6,972	2490	3,984	10,8	830	20	kg	322	26,5
Habas	0,6	2,52	900	1,44	3,8	300	800	kg	110	7,6
Arvejas	2	8,4	3000	4,8	10	1000	120	kg	81	5,5
Trigo	1,66	6,972	2490	3,984	11,2	830	200	kg	364	10,3
Porotos	3	12,6	4500	7,2	5,04	1500	50	kg	326	20,6
Maíz	3	12,6	4500	7,2	5,04	1500	30	kg	86	3,2
Lechuga	0,35	8,162	525	0,84	0,2	175	800	un	13	1,3
Acelga	0,188	4,38416	282	0,4512	0,56	94	200	atados	19	1,8
Tomate	0,19	4,4308	285	0,456	0,037	95	1.000	kg	21	0,9
Cebolla	0,09	2,0988	135	0,216	0,1375	45	1.100	un	38	1,2
Ajo	0,088	2,05216	132	0,2112	0,25	44	300	un	149	6,4
Espinaca	0,07	1,6324	105	0,168	0,48	35	40	atados	23	3
Apio	0,15	3,498	225	0,36	0,06	75	200	paquetes	16	0,8
Pepinos	0,19	4,4308	285	0,456	0,4	95	200	unidades	13	0,5
Aji	0,004	0,09328	6	0,0096	7,5E-05	2	30	unidades	27	0,9
Leña	0	0	0	0	0	0	25	m3		
Estacas	0	0	0	0	0	10000	40	un		
Total hrs	13	245	22.335	36	48	17.445			1817	92,3

Tabla 5. Información del manejo producción del Centro Agroecológico CET, año 2013

Año 2013	hrs Animal	hrs Hombre	Fertilización Orgánica kg	Fertilización Foliar	Semilla gr	mts 2 Cultivados	Producción total/año	unidad	Producción de caloría	Producción de Proteína
Arándanos	0	67,4696	1020	1,632	0	340	500	kg	46	0,60
goldenberry	0	19,844	300	0,48	0	100	10	kg	49	1,50
Manzanas	0	64,493	975	1,56	0	325	300	kg	59	0,2000
Ciruelas	0	49,61	750	1,2	0	250	35	kg	55	0,8
Duraznos	0	42,6646	645	1,032	0	215	12	kg	43	0,70
Cerezas	0	9,922	150	0,24	0	50	20	kg	72	1,20
kakis	0	21,23308	321	0,5136	0	107	12	kg	70	0,58
Mora	0	51,5944	780	1,248	0	260	400	kg	52	0,70
Frambuesa	0	27,7816	420	0,672	0	140	100	kg	49	1
frutillas	0	39,688	600	0,96	0	200	400	kg	30	0,60
uva mesa	0	56,5554	855	1,368	0	285	850	kg	63	0,60
membrillos	0	44,649	675	1,08	0	225	230	Kg	57	0,40
Garbanzo	1,66	6,972	2490	3,984	10,8	830	35	kg	322	26,5
Habas	0,6	2,52	900	1,44	3,8	300	800	kg	110	7,6
Arvejas	2	8,4	3000	4,8	10	1000	120	kg	81	5,5
trigos	1,66	6,972	2490	3,984	11,2	830	250	kg	364	10,3
porotos	3	12,6	4500	7,2	5,04	1500	70	kg	326	20,6
Maiz	3	12,6	4500	7,2	5,04	1500	50	kg	86	3,2
lechuga	0,72	17,3664	1080	1,728	0,087	360	2.000	un	13	1,3
acelga	0,18	4,3416	270	0,432	0,84	90	300	atados	19	1,8
tomate	0,132	3,18384	198	0,3168	0,037	66	1.000	kg	21	0,9
cebolla	0,09	2,1708	135	0,216	0,56	45	1.250	un	38	1,2
ajo	0,07	1,6884	105	0,168	0,2	35	300	un	149	6,4
espinaca	0,06	1,4472	90	0,144	0,48	30	40	atados	23	3
apio	0,11	2,6532	165	0,264	0,06	55	200	paquetes	16	0,8
pepinos	0,174	4,19688	261	0,4176	0,35	87	200	unidades	13	0,5
aji	0,004	0,09648		0,0096	0,0007	2	30	unidades	27	0,9
miel	0	0	0	0	0	0	400	kg	0,3	12,7
leña	0	0	0	0	0	0	25	m3		
estacas	0	0	0	0	0	10000	40	un		
Total hrs	13	583	27.675	44	48	19.227			2253	99,28

Tabla 6 .Relación de productos vegetales y su contenido de proteína y energía (parte consumible) para los cálculos de producción de energía y proteína

Cultivos	Caloría Producida	Proteína producida	Total kcal	MJ/Unidad	MJ/UNIDAD
Arándanos	46	0,60	46.000	192,59	1,93
Cerezas	72	1,20	72.000	301,45	3,01
Ciruelas	55	0,8	55.000	230,27	2,30
Duraznos	43	0,70	43.000	180,03	1,80
Frambuesa	49	1	49.000	205,15	2,05
frutillas	30	0,60	30.000	125,60	1,26
goldenberry	49	1,50	49.000	205,15	2,05
Guindas	72	1,20	72.000	301,45	3,01
Higos	74	0,80	74.000	309,82	3,10
kakis	70	0,58	70.000	293,08	2,93
Manzanas	59	0,2000	59.000	247,02	2,47
membrillos	57	0,40	57.000	238,65	2,39
Mora	52	0,70	52.000	217,71	2,18
Peras	59	0,40	59.000	247,02	2,47
uva mesa	63	0,60	63.000	263,77	2,64
Arvejas	81	5,5	81.000	339,13	3,39
Garbanzo(chicharos)	322	26,5	322.000	1.348,15	13,48
Habas	110	7,6	110.000	460,55	4,61
maiz(chodo crudo)	86	3,2	86.000	360,06	3,60
pepinos	13	0,5	13.000	54,43	0,54
porotos	326	20,6	326.000	1.364,90	13,65
Quinoa	375	13	375.000	1.570,05	15,70
trigos(harina cruda)	364	10,3	364.000	1.524,00	15,24
Zapallos italiano	14	1,2	14.000	58,62	0,59
acelga	19	1,8	19.000	79,55	0,80
aji	27	0,9	27.000	113,04	1,13
ajo	149	6,4	149.000	623,83	6,24
apio	16	0,8	16.000	66,99	0,67
cebolla	38	1,2	38.000	159,10	1,59
espinaca	23	3	23.000	96,30	0,96
lechuga	13	1,3	13.000	54,43	0,54
tomate	21	0,9	21.000	87,92	0,88

Tabla 12. Parámetros que permite medir el sistema computarizado Energía 3.01

Parámetro	Descripción	Fórmula
Horas de trabajo humano sobre hectáreas	Número de horas de trabajo humano insumidas por hectárea de terreno.	$TH = \frac{hortrabhum}{area}$ Donde. hortrabhum: Número total de horas de trabajo humano invertidas. area: Área del sistema de producción, en hectáreas.
Energía insumida (Megajoules/ha)	Cantidad de energía gastada por concepto de insumos utilizados, expresado en megajoules por una hectárea de terreno.	$EI = \frac{gasto * energia}{area}$ Donde. gasto: Gasto del insumo, en su unidad de medida. energia: Equivalente energético de la unidad del insumo, en megajoules. area: Área de la sistema de producción, en hectáreas.
Rendimiento productivo (Toneladas/ha)	Rendimientos de las producciones agrícolas, expresado en toneladas (correspondiente al producto producido) por una hectárea de terreno.	$RP = \frac{produccion * factor}{\frac{area}{1000}}$ Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. area: Área de la sistema de producción, en hectáreas.
Energía producida (Megajoules/ha)	Cantidad de energía producida por concepto de producciones agrícolas, expresado en megajoules por una hectárea de terreno.	$EP = \frac{produccion * energia}{area}$ Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. energia: Equivalente energético de la unidad del insumo, en megajoules. area: Área de la sistema de producción, en hectáreas.

Proteína producida (Kg/ha)	Cantidad total de proteínas producida por concepto de producciones agrícolas, expresado en kilogramos por una hectárea de terreno.	$PP = \frac{produccion * factor * \frac{proteina}{100}}{area}$ Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. proteina: por ciento de contenido de proteínas del producto. area: Área de la sistema de producción, en hectáreas.
Proteína de origen vegetal producida (Kg/ha)	Cantidad de proteínas de origen vegetal producida por concepto de producciones agrícolas, expresado en kilogramos por una hectárea de terreno.	$PV = \frac{produccion * factor * \frac{prveget}{100}}{area}$ Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. prveget: por ciento de contenido de proteínas de origen vegetal del producto. area: Área de la sistema de producción, en hectáreas.
Proteína de origen animal producida (Kg/ha)	Cantidad de proteínas de origen vegetal producida por concepto de producciones agrícolas, expresado en kilogramos por una hectárea de terreno.	$PA = \frac{produccion * factor * \frac{pranim}{100}}{area}$ Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. pranim: por ciento de contenido de proteínas de origen animal del producto. area: Área de la sistema de producción, en hectáreas.
Personas que alimenta con energía (Personas/ha)	Número de personas que se pueden alimentar con las producciones agrícolas de acuerdo a requerimientos energéticos anuales, expresado en personas por una hectárea de terreno.	$AE = \frac{\frac{produccion * energia}{area}}{reqenerg}$ Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. energia: Equivalente energético de la unidad del insumo, en megajoules. area: Área de la sistema de producción, en hectáreas. reqenerg: requerimiento energético anual de una persona promedio, en megajoules.
Personas que alimenta con proteínas (Personas/ha)	Número de personas que se pueden alimentar con las producciones agrícolas de acuerdo a requerimientos de proteínas anuales, expresado en personas por una hectárea de terreno.	$AP = \frac{\frac{produccion * factor * \frac{proteina}{100}}{area}}{reqprot}$ Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida.