

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y ENERGÍA NETA DE  
ESPECIES OLEAGINOSAS CON POTENCIAL ENERGÉTICO CULTIVABLES  
EN CHILE**

**NICOLÁS PATRICIO DOMKE RODRÍGUEZ**

**Santiago, Chile**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y ENERGÍA NETA DE  
ESPECIES OLEAGINOSAS CON POTENCIAL ENERGÉTICO CULTIVABLES  
EN CHILE**

**CARBON FOOTPRINT AND NET ENERGY ESTIMATING OF  
POTENTIAL ENERGY OIL SPECIES CULTIVATED IN CHILE**

**NICOLÁS PATRICIO DOMKE RODRÍGUEZ**

**Santiago, Chile**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y ENERGÍA NETA EN  
CULTIVOS OLEAGINOSOS CON POTENCIAL ENERGÉTICO CULTIVABLES  
EN CHILE**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

**NICOLÁS PATRICIO DOMKE RODRÍGUEZ**

<b>PROFESOR GUÍA</b>	Calificaciones
Sr. Manuel Paneque C. Bioquímico, Dr.	<b>6,8</b>
<b>PROFESORES EVALUADORES</b>	
Mauricio Galleguillos T. Ingeniero Agrónomo, M.S. Dr.	<b>5,8</b>
Víctor García de Cortázar G.D.C. Ingeniero Agrónomo, Dr. Ing.	<b>6,5</b>
<b>COLABORADOR</b>	
Celián Román F. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables.	

**Santiago, Chile**

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

Primero que todo me gustaría partir por agradecer el apoyo constante e incondicional durante toda mi vida de mi familia, partiendo por mis padres Carlos y Sonia, ya que sin ellos nada de esto hubiese sido posible, también me gustaría agradecer el apoyo de mis hermanas Carla y María Ignacia.

Dentro de los años de estudios en la Universidad tuve muchos amigos, pero quisiera destacar entre ellos a Christian, quien aparte de ser uno de mis mejores amigos fue también un gran apoyo en el desarrollo de mi memoria de título. También me gustaría agradecer a mi polola Valentina, ya que sin su apoyo hubiese sido mucho más difícil este proceso.

También me gustaría agradecer a todos mis amigos de la Universidad, fútbol, juntas, etc., ya que de una u otra manera al preguntar cómo iba con mi proceso de titulación me estimulaban a seguir trabajando en ello día a día. Dentro de la gente de la Universidad y en especial en el desarrollo de mi memoria tuvieron mucha importancia mis compañeros del laboratorio de bioenergía, Celián y Rodrigo.

Me gustaría dar las gracias a todos los profesores de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, ya que dentro de los años de estudio siento que me entregaron las herramientas necesarias para enfrentar el sistema laboral sin problemas. Dentro de los profesores de la carrera me gustaría agradecer en especial a Manuel Paneque, ya que aparte de ser uno de mis profesores dentro de los años de estudio, también fue mi profesor guía y gracias a él logre terminar este proceso de manera correcta.

Finalmente me gustaría agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma fueron parte de este proceso, ya que muchos sin saberlo contribuyeron con un granito de arena en este lindo y largo proceso.



## INDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
Objetivo general:.....	12
Objetivos específicos: .....	12
2. ESTADO DEL ARTE.....	13
2.1. Biocombustibles.....	13
2.2. Huella de carbono .....	15
2.3. Energía neta.....	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
3.1. Actividades Específicas .....	18
3.2. Manejo agronómico .....	18
3.2.1. Guindilla ( <i>Guindilia trinervis</i> ).....	18
3.2.2. Higuera ( <i>Ricinus communis</i> ).....	19
3.2.3. Jatropha ( <i>Jatropha curcas</i> ) .....	20
3.2.4. Jojoba ( <i>Simmondsia chinensis</i> ) .....	21
3.2.5. Moringa ( <i>Moringa oleífera</i> ).....	22
3.3. Estimación de la Huella de Carbono.....	23
3.4. Estimación de la energía Neta.....	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1. Proceso productivo.....	29
4.2 Huella de carbono .....	29
4.2.1. Alcance 1.....	30
4.2.2. Alcance 2.....	32
4.2.3. Alcance 3.....	33
4.3. Energía neta.....	36
4.3.1. Flujo de entrada.....	38
4.3.2. Flujo de salida .....	40
5. CONCLUSIONES .....	42
6. BIBLIOGRAFÍA .....	44
7. ANEXOS .....	53
7.1. Maquinaria agrícola .....	53
7.2. Datos meteorológicos.....	54
7.2.1 <i>Guindilia trinervis</i> .....	54
7.2.2. <i>Ricinus communis</i> .....	55
7.2.3. <i>Jatropha curcas</i> .....	56
7.2.4. <i>Simmondsia chinensis</i> .....	57
7.2.5. <i>Moringa oleifera</i> .....	57
8. APÉNDICES.....	59
8.1. Apéndice N°1, descripción y ecología de las especies en estudio .....	59
8.1.1. Guindilla ( <i>Guindilia trinervis</i> ).....	59
Descripción .....	59

Ecología.....	59
Potencial energético .....	60
Plagas y enfermedades .....	60
8.1.2. Higuierilla ( <i>Ricinus communis</i> ).....	60
Descripción .....	60
Ecología.....	61
Producción y usos .....	61
Potencial energético .....	62
Plagas y enfermedades .....	62
8.1.3. Jatropha ( <i>Jatropha curcas</i> ) .....	63
Descripción .....	63
Producción y usos .....	64
Potencial energético .....	65
Plagas y enfermedades .....	65
8.1.4. Jojoba ( <i>Simmondsia chinensis</i> ) .....	66
Descripción .....	66
Ecología.....	66
Potencial energético .....	67
Plagas y enfermedades .....	67
8.1.5. Marango ( <i>Moringa oleífera</i> ) .....	68
Descripción .....	68
Ecología.....	68
Producción y usos .....	69
Potencial energético .....	69
Plagas y enfermedades .....	70
8.2. Apéndice N°2, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de Guindilia trinervis. ....	70
8.3. Apéndice N°3, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de Ricinus communis.....	72
8.4. Apéndice N°4, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de Jatropha curcas.....	73
8.5. Apéndice N°5, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de Simmondsia chinensis.....	74
8.6. Apéndice N°6, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de Moringa oleifera.....	75
8.7. Apéndice N°7, Demanda hídrica de los cultivos analizados.....	77
8.8. Apéndice N°8, Estimación del consumo eléctrico con respecto al uso de bombas de riego en los cultivos. ....	79
8.9. Apéndice N°9, Estimación huella carbono guindilla. ....	84
8.10. Apéndice N°10, Estimación huella carbono higuierilla. ....	85
8.11. Apéndice N°11, Estimación huella carbono jatropha.....	86
8.12. Apéndice N°12, Estimación huella carbono jojoba.....	87
8.13. Apéndice N°13, Estimación huella carbono moringa. ....	88
8.14. Apéndice N°14, Estimación energía neta guindilla.....	89
8.15. Apéndice N°15, Estimación energía neta higuierilla.....	90

8.16. Apéndice N°16, Estimación energía neta jatropha.....	91
8.17. Apéndice N°17, Estimación energía neta jojoba.....	92
8.18. Apéndice N°18, Estimación energía neta moringa.....	93

## INDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Preparación del suelo para el establecimiento de guindilla .....	19
Tabla N°2. Preparación del suelo para el cultivo de higuera .....	20
Tabla N°3. Preparación del suelo para el cultivo de jatropha .....	20
Tabla N°4. Preparación del suelo para el cultivo de jojoba. ....	21
Tabla N°5. Preparación del suelo para el cultivo de moringa. ....	22
Tabla N°6. Potencial de Calentamiento Global de los principales GEI considerados para la medición de la <i>HC</i> .....	24
Tabla N°7. Energía incorporada en los insumos agrícolas.....	26
Tabla N°8. Huella de carbono (Ton CO <sub>2</sub> -e) de los cultivos en estudio. ....	29
Tabla N°9. Alcance 1 (Ton CO <sub>2</sub> -e) de los cultivos en estudio. ....	30
Tabla N°10. Alcance 2 (Ton CO <sub>2</sub> -e) de los cultivos en estudio. ....	32
Tabla N°11. Alcance 3 (Ton CO <sub>2</sub> -e) de los cultivos en estudio. ....	33
Tabla N°12. Energía neta cultivos en estudio .....	36
Tabla N°13. Indicadores balance energético .....	37
Tabla N°14. Flujo entrada de los cultivos .....	38
Tabla N°15. Flujo directo de los cultivos.....	38
Tabla N°16. Flujo indirecto de los cultivos.....	40
Tabla N°17. Flujo de salida de los cultivos.....	41
Tabla N°18. Condiciones de trabajo típicas en las operaciones agrícolas en Chile .....	53
Tabla N°19. Consumo generales maquinaria agrícola. ....	53
Tabla N°20. Ubicación estaciones meteorológicas. ....	54
Tabla N°21. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración. ....	55
Tabla N°22. Ubicación estaciones meteorológicas. ....	55
Tabla N°23. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración. ....	55
Tabla N°24. Ubicación estaciones meteorológicas. ....	56
Tabla N°25. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración. ....	56
Tabla N°26. Ubicación estaciones meteorológicas. ....	57
Tabla N°27. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración. ....	57
Tabla N°28. Ubicación estaciones meteorológicas. ....	57
Tabla N°29. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración. ....	58
Tabla N°30. Aplicaciones agrícolas. ....	70
Tabla N°31. Labranza.....	71
Tabla N°32. Maquinaria agrícola utilizada. ....	71
Tabla N°33. Aplicaciones agrícolas. ....	72
Tabla N°34. Labranza.....	72
Tabla N°35. Maquinaria agrícola utilizada. ....	72
Tabla N°36. Aplicaciones agrícolas. ....	73
Tabla N°37. Labranza.....	73
Tabla N°38. Maquinaria agrícola utilizada. ....	74
Tabla N°39. Aplicaciones agrícolas. ....	74
Tabla N°40. Labranza.....	75
Tabla N°41. Maquinaria agrícola utilizada. ....	75
Tabla N°42. Aplicaciones agrícolas. ....	75

Tabla N°43. Labranza.....	76
Tabla N°44. Maquinaria agrícola utilizada. ....	76
Tabla N°45. Valores de ETP para cada mes por cada especie. ....	77
Tabla N°46. Kc según fase de desarrollo .....	78
Tabla N°47. Valores de ETR para cada mes por cada especie.....	78
Tabla N°48. Demanda hídrica de cada cultivo.....	79
Tabla N°49. Caudal emisor por especie. ....	80
Tabla N°50. Precipitación de equipo por especie.....	80
Tabla N°51. Tiempo de riego por especie. ....	81
Tabla N°52. Jornada de riego por especie. ....	82
Tabla N°53. Número de sectores de riego por especie.....	82
Tabla N°54. Carga Dinámica Total .....	82
Tabla N°55. Potencia bomba para riego por especie.....	83

**INDICE DE FIGURAS**

Figura N°1. Porcentaje de aporte de los alcances 1, 2 y 3 a la huella de carbono total. ....	30
Figura N°2. Porcentaje de aporte de las emisiones de alcance 1.....	31
Figura N°3. Gráfico alcance 1 (Ton CO2-e) de los cultivos en estudio.....	32
Figura N°4. Gráfico alcance 2 (Ton CO2-e) de los cultivos en estudio.....	33
Figura N°5. Gráfico alcance 3 (Ton CO2-e) de los cultivos en estudio.....	34
Figura N°6. Porcentaje de aporte de las emisiones de alcance 3.....	35
Figura N°7. Gráfico Flujos de energía por cultivo (MJ * ha-1).....	37
Figura N°8. Guindilla (A: Planta con flores y B: hojas opuestas y coriáceas).....	60
Figura N°9. Higuera (A: planta con frutos y B: hojas palmeadas). ....	62
Figura N°10. Jatropha (A: plántula y B: hojas palmeadas y opuestas). ....	65
Figura N°11. Jojoba (A: cultivo y B: Hojas opuestas y ovaladas). ....	67
Figura N°12. Moringa oleifera (A: flor y B: frutos y hojas compuestas). ....	69

**GLOSARIO DE SIGLAS**

<b>CO2:</b>	<b>Dióxido de carbono.</b>
<b>CNE:</b>	<b>Comisión Nacional de Energía.</b>
<b>DEFRA:</b>	<b>Department of Food and Rural Affairs.</b>
<b>EI:</b>	<b>Energía Incorporada por Unidad de Producto.</b>
<b>ERSI:</b>	<b>Energía de Retorno Sobre la Inversión.</b>
<b>FAO:</b>	<b>Food and Agriculture Organization of United Nations.</b>
<b>GEI:</b>	<b>Gases de Efecto Invernadero.</b>
<b>IPCC:</b>	<b>Intergovernmental Panel on Climate Change.</b>
<b>ISO:</b>	<b>International Standard Organization.</b>
<b>OCDE:</b>	<b>Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.</b>
<b>ODEPA:</b>	<b>Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.</b>
<b>SEMARNAT:</b>	<b>Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.</b>
<b>WRI:</b>	<b>World Resources Institute.</b>

## RESUMEN

La combustión a partir de combustibles fósiles, es la principal fuente de energía del hombre, y la principal responsable del incremento de las existencias de carbono en la atmósfera, y como consecuencia del calentamiento global del planeta. Esta situación, junto a la crisis energética mundial, ha instado a los países a innovar en sus sistemas de generación, priorizando aquellas fuentes que sean sostenibles en el tiempo y que cuyo proceso de generación implique un menor impacto ambiental

Chile es dependiente de los combustibles fósiles, y los escenarios de volatilidad de sus actuales precios, lo sitúan en una situación desfavorable. Por lo que ha apostado potenciar la incorporación de biocombustibles hasta un equivalente al 10% de los combustibles consumidos por vehículos motorizados terrestres al año 2020.

En el presente estudio se realizó un análisis de la producción de cultivos oleaginosos con potencial energético como son guindilla (*Guindilia trinervis*), higuera (*Ricinus communis*), jatropha (*Jatropha curcas*), jojoba (*Simmondsia chinensis*) y moringa (*Moringa oleífera*). El análisis fue desarrollado en base al inventario de ciclo de vida (ISO 14.040) de las prácticas culturales de cada especie. La estimación de la huella de carbono se realizó a partir de la norma PAS 2050:2008, la cual se utiliza para evaluar el ciclo de vida de las emisiones de GEI de bienes y servicios, y el balance energético (energía neta) a partir de distintas propuestas y estudios con respecto al flujo energético en cultivos agrícolas.

El cultivo que generó una mayor huella de carbono fue el de jojoba (19,4 Ton CO<sub>2</sub>-e) ya que su manejo considera una duración de nueve años para alcanzar una producción estable de frutos/semillas. Por el contrario, el cultivo que generó menor cantidad de emisiones fue el de guindilla (15,9 Ton CO<sub>2</sub>-e), debido a que su producción requiere de un ciclo de vida menor a un año.

La jojoba presentó la mayor energía neta (379.863,1 MJ \* ha<sup>-1</sup>), respecto al resto de los cultivos analizados ya que es capaz de generar un número considerable de frutos y, a su vez, semillas una vez estabilizada la producción contribuyendo a la energía de salida del cultivo. La especie que presentó la menor energía neta fue la guindilla (850,2 MJ \* ha<sup>-1</sup>), debido a que su baja productividad de frutos se traduce en una baja energía de salida.

Los cultivos analizados poseen potencial para la producción de biocombustibles, como alternativa energética, ya que la relación entre la energía empleada en el campo (flujo de entrada) y la obtenida finalmente en la cosecha (flujo de salida) es positiva. Su uso en la industria nacional permitiría reducir las emisiones de GEI ya que el CO<sub>2</sub> resultante de su utilización como combustible es parte del ciclo natural del carbono en el planeta (carbono biogénico).

**Palabras clave: Huella de Carbono, Energía Neta, Cultivos Oleaginosos, Calentamiento Global, Gases de Efecto Invernadero.**



## ABSTRACT

Fossil fuels combustion are the main source of energy of man, the principal responsible of atmosphere carbon stocks the increase and global warming. This situation and the current world energy crisis encourage countries to innovate their energy generation systems preferring energy sources that are sustainable in time with generation process with a lower environmental impact.

Chilean production systems depends on fossil fuels, however, the current volatility prices scenario put the country at a disadvantage in the international context. For this reason, the government of Chile has decided to enhance the incorporation of biofuels into the energy matrix to an equivalent of 10% of the fuel consumption of land motor vehicles by 2020.

The present study analyzed the carbon footprint and net energy of the agronomic or forestry production system of oilseed crops with energy potential such as guindilla (*Guindilia trinervis*), higuera (*Ricinus communis*), jatropha (*Jatropha curcas*), jojoba (*Simmondsia chinensis*) and moringa (*Moringa oleífera*). The analysis was based on a life cycle analysis (ISO 14.040) inventory made for all the activities involved in the agronomic or forestry process of each specie. Carbon footprint was estimated according the PAS 2050 standard usually used to estimate carbon footprint of goods and services. The energy balance (net energy) was based on various proposals and studies about energy flux on agronomic or forestry crops.

The higher carbonfootprint value corresponds to jojoba culturing (19,4 Ton CO<sub>2</sub>-e) because his cultural practices considers a 9 years period of management to ensure a stabilized fruit/seed production. Conversely, the lower emissions corresponds to the guindilla management (15,9 TonCO<sub>2</sub>-e), because his life cycle last less than a year.

Jojoba culturing shows the higher net energy value (379.863,1 MJ \* ha<sup>-1</sup>) of all the crops analyzed because is capable of generate a considerable quantity of fruits and, in turn, seeds once his production is stabilized contributing to the crop energy output. The lower net energy value corresponds to guindilla production system (850,2 MJ \* ha<sup>-1</sup>), because of their low fruit production results in low energy output.

The analyzed crops has biofuels production potential as an energy alternative because the relation between the energy used in the field (input energy) and the energy obtained of the harvest (output energy) its higher than zero. The use of these crops in national industry may contribute to reduce greenhouse gases emissions because the carbon dioxide resulting for its use its part of natural carbon dioxide cycle on the earth (biogenic carbon).

**Key words: Carbon Footprint, Net Energy, Oil crops, Global warming, Greenhouse Gases.**

## 1. INTRODUCCIÓN

Chile depende de los combustibles fósiles importados, y sus altos precios han incrementado los costos marginales de generación de energía y el precio de la electricidad (CNE, 2012). Esto resulta una situación compleja para nuestro país, ya que actualmente de los combustibles que se utilizan para vehículos, el 90% es importado, lo cual pone a Chile en una situación de dependencia y fragilidad energética con respecto a otros países (Hetz y Barrios, 1996). Uno de los desafíos que se presentan es contar con los recursos energéticos suficientes para sostener el crecimiento del país, donde la inclusión de energías no convencionales se presenta como una gran oportunidad (CNE, 2012).

Según Iriarte *et al.* (2009), América del Sur importa más del 70% de sus combustibles fósiles. Para el año 2010 Chile importó el 79,2% del petróleo crudo y el 88,5% del carbón que se consumió durante ese año en el país, siendo estos dos combustibles el primero y tercero en importancia respectivamente dentro de la matriz energética del país (CNE, 2012). El gobierno de Chile ha desarrollado una política de seguridad energética con el objetivo de llegar a ser autosuficientes, diversificando la matriz energética y fomentando el desarrollo de energías renovables en un marco de sostenibilidad y de preocupación por el medio ambiente (CNE, 2012).

Los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios de los seres humanos, contemplan emisiones invernadero principalmente de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, entre otros gases (Schneider y Samaniego, 2009). El aumento de las emisiones de GEI de origen antropogénico producidas, principalmente, por la quema de combustibles fósiles, ha generado preocupación a nivel mundial, debido al que estos gases contribuyen al aumento del calentamiento global del planeta (Acevedo, 2006; Schneider y Samaniego, 2009).

Al año 1999, la concentración promedio mundial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera era de 367 partes por millón (ppm), en comparación con las 280 ppm de la época pre-industrial (1750 aprox.), lo que representa un aumento de 31% (Martínez y Fernández, 2004). El ritmo al que está creciendo la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es el más alto desde que se le comenzó a dar seguimiento continuo en 1959 (Houghton *et al.*, 1997; Canadell *et al.*, 2007).

Según Recalde y Durán (2009), a nivel mundial se han buscado alternativas que disminuyan las emisiones de GEI y que permitan mantener los actuales niveles de producción de bienes y servicios. Para esto, equipos multidisciplinarios han estudiado formas de abastecimiento energético, considerándose la bioenergía como una de las mejores opciones para reemplazar los combustibles fósiles (Recalde y Durán, 2009). La bioenergía, y los biocombustibles generan emisiones que son parte del ciclo natural del carbono, permitiendo disminuir la acumulación de GEI de origen fósil (Recalde y Durán, 2009).

Una herramienta para la medición de GEI producidos por la producción o consumo de bienes y servicios de los seres humanos, es la huella de carbono, la cual representa un indicador a

considerar en la toma de decisión, permitiendo ejecutar acciones para mitigar el calentamiento global y reducir las emisiones de GEI (Schneider y Samaniego, 2009). Este indicador permite estimar la cantidad de emisiones directas e indirectas de GEI, cuantificada en emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-e), que son liberadas a la atmósfera producto de todas las actividades humanas (Papendieck, 2010).

La cuantificación de las emisiones de GEI asociadas a los productos es compleja, debido al número de emisiones asociadas a cada proceso (Schneider y Samaniego, 2009). En países como Alemania, España, Estados Unidos, Francia y Reino Unido, se está trabajando en la definición de la huella de carbono de los productos y en el diseño de metodologías para medir sus emisiones a nivel de organización (Schneider y Samaniego, 2009).

Para mitigar estas emisiones se han considerado medidas como los impuestos de carbono, programas de transacción de derechos de emisión y barreras técnicas que incluyen exigencias sobre niveles de eficiencia energética, todo esto con el fin de disminuir la emisión y acumulación de GEI (Schneider y Samaniego, 2009).

La contabilización y divulgación de las emisiones de carbono producidas en el ciclo de vida de los bienes y servicios en todas las etapas del proceso, es un elemento que alertará al consumidor e influenciará en su decisión de compra de productos e insumos, privilegiando las organizaciones y/o empresas con una mayor conciencia ambiental (Schneider y Samaniego, 2009). La evaluación del ciclo de vida del girasol y la colza como cultivo energético en Chile es un ejemplo donde se comparan los impactos en el medio ambiente, la energía y la demanda de agua, de especies potenciales para utilizarse como materia prima para la producción de biodiesel (Iriarte *et al.* 2009).

Las organizaciones de productos y servicios al reducir sus emisiones de GEI pueden mejorar las condiciones ambientales locales y su competitividad a escala nacional y global, contribuyendo a la resolución del calentamiento global (Schneider y Samaniego, 2009). El control sobre las emisiones de GEI también lleva aparejado beneficios en cuanto a limitación de emisiones tóxicas, mejoras a la salud, ahorros económicos por eficiencia energética, introducción de nuevos procesos, promoción de fuentes renovables de energía, identificación de oportunidades para participar en mercados de carbono y, en general, el mejoramiento de la posición estratégica para el desarrollo sustentable de la propia empresa y del país (Ranganathan *et al.*, 2006).

La reducción de emisiones de GEI es una forma de evaluar los impactos ambientales con respecto a un producto o cultivo, y en este caso esto se realiza a través de un análisis de emisiones en torno al proceso productivo de cada uno de los cultivos (Pimentel y Patzek, 2005; Chavanne y Frangi, 2008). El análisis energético se utiliza para determinar la eficiencia de los sistemas agrícolas, por medio de la cuantificación de la circulación de energía a través del sistema (flujos energéticos de entrada y salida), estableciendo la ganancia neta (energía neta) (Hetz, 1992). Este tipo de mediciones, de eficiencia energética y balance energético, se utilizan como herramientas de monitoreo de la agricultura ante el uso de recursos energéticos no renovables (Hetz, 1994).

Debido al agotamiento de los combustibles fósiles, la volatilidad de su precio y alto costo en los mercados internacionales, así como también a la acumulación de GEI, se convierte en una realidad la oportunidad del desarrollo de los biocombustibles en nuestro país (Recalde y Durán, 2009).

La producción de biocombustibles a partir de cultivos con potencial energético surge como una alternativa a los combustibles tradicionales (Recalde y Durán, 2009). Nuestra propuesta incluye especies que no compiten por terrenos agrícolas tradicionales, que pueden sobrevivir y crecer en zonas marginales para la agricultura, y que además no se utilicen como alimento humano o animal (Recalde y Durán, 2009).

**Objetivo general:**

Estimar de la huella de carbono y energía neta de la producción agrícola de los cultivos de guindilla (*Guindilia trinervis*), higuera (*Ricinus communis*), jatropha (*Jatropha curcas*), jojoba (*Simmondsia chinensis*) y moringa (*Moringa oleífera*).

**Objetivos específicos:**

- Elaborar un inventario de ciclo de vida de los cultivos de las especies.
- Estimar la huella de carbono del inventario de ciclo de vida de cada especie.
- Estimar la energía neta del inventario de ciclo de vida de cada especie.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Biocombustibles

Uno de los mayores desafíos para la sociedad en el siglo XXI es satisfacer la creciente demanda de energía para el transporte, la calefacción, los procesos industriales y proporcionar la materia prima para la industria de una manera sostenible (Schneider y Samaniego, 2009). Existe una creciente preocupación por la seguridad del suministro de petróleo, y porque la fuente de energía en el futuro permitan una reducción sustancial de las emisiones de gases de efecto invernadero (Schneider y Samaniego, 2009).

En los últimos 10 años, se ha venido buscando alternativas que permitan reducir las emisiones GEI, desarrollando nuevas tecnologías que impliquen la generación de combustibles renovables y nuevas fuentes de energía con el fin de mantener y conservar la biosfera (Schneider y Samaniego, 2009).

Los biocombustibles son combustibles de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos, procedentes habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas (Machado, 2010).

Existen muchas razones por las cuales los biocombustibles deben ser considerados como tecnologías relevantes tanto por países en desarrollo como por países industrializados (Gómez *et al.*, 2008; Dermibas, 2008). Los biocombustibles incluyen razones de seguridad energética, las preocupaciones ambientales, el ahorro de divisas, y los aspectos socioeconómicos relacionados con el sector rural (Dermibas, 2008). El desarrollo económico de los biocombustibles se basa en la producción agrícola y la mayoría de la población vive en las zonas rurales (Dermibas, 2008).

Según Machado (2010), los biocombustibles se pueden clasificar de acuerdo a la materia prima utilizada y a la tecnología empleada para producirlos. Debido a los avances en la tecnología, esta clasificación se realiza por generaciones (Machado, 2010). Se consideran los biocombustibles de primera generación los producidos a partir de materias primas agrícolas de uso alimenticios, los de segunda generación los insumos son residuos agrícolas y forestales, los de tercera generación son producidos de los cultivos energéticos, y los de cuarta generación son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas (Machado, 2010).

La mayoría de los biocombustibles tradicionales, como el etanol a partir del maíz, el trigo o la remolacha azucarera, y biodiesel a partir de semillas oleaginosas, se producen a partir de cultivos agrícolas alimentarios clásicos que requieren tierras agrícolas de alta calidad para el crecimiento (Farrel *et al.*, 2006; Dermibas, 2008). El biodiesel es un combustible líquido alternativo y amistoso con el medio ambiente, que se puede utilizar en cualquier motor diesel sin modificación (CEPAL, 2007; Dermibas, 2008).

Según Dermibas (2008), existe un alto interés en el uso de aceites vegetales para la producción de biodiesel debido a su naturaleza menos contaminante y renovable, en comparación al combustible diesel de petróleo tradicional. Debido a sus méritos medioambientales, la participación de los biocombustibles en el mercado de los combustibles crecerá rápidamente en la próxima década (Dermibas, 2008).

Los más altos niveles de producción de biodiesel corresponden a países de la Unión Europea, donde Alemania, Bélgica, Italia, Francia, España y Polonia concentran más del 42,9% de la producción mundial, seguidos de Estados Unidos con un 11,5% y Brasil con 8,6% (Paneque *et al.*, 2011). Con respecto al etanol, los mayores niveles de producción corresponden a Estados Unidos y Brasil con un 53 y 33% de la producción a nivel mundial (RFA, 2011). En Chile, los biocombustibles líquidos aún no conforman una fracción significativa del consumo energético primario (CNE, 2012).

El principal inconveniente para la utilización del etanol, es que este es un biocombustible de primera generación, compitiendo con otros recursos alimenticios (Paneque *et al.*, 2011). Por el contrario para el biodiesel, existen ocho plantas productoras en Chile, siendo la planta FAME (Pullman Bus) e Industrias Grasas y Aceites (INGRAS) las más importantes (Paneque *et al.*, 2011).

## 2.2. Huella de carbono

Según Schneider y Samaniego (2009), la huella de carbono se define como la cantidad de emisión de gases relevantes al cambio climático (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, entre otros gases) asociadas a las actividades de producción o consumo de los seres humanos. Sin embargo, la gama de definiciones varía desde un mirada simplista, contemplando sólo las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, a otras más complejas, asociadas al ciclo de vida completo de las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo la elaboración de las materias primas y el destino final del producto y sus respectivos embalajes (Schneider y Samaniego, 2009).

Las definiciones existentes se centran en el CO<sub>2</sub> como el principal eje de análisis, siendo la gran diferencia entre éstas, además del alcance de la huella, la inclusión de los demás gases de efecto invernadero (Wiedmann y Minx, 2007). La propiedad a la que frecuentemente se refiere la huella de carbono es el peso en kilogramos o toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero emitida por persona o actividad (Wiedmann y Minx, 2007).

Conocer la huella de carbono permite identificar caminos para controlar, reducir o mitigar las emisiones de GEI, y determinar el potencial impacto de ellas (Schneider y Samaniego, 2009). Se reconoce, cada vez más, su importancia en el comercio de bienes y servicios, y entre países con compromisos de reducción de emisiones que suscribieron el protocolo de Kyoto (Schneider y Samaniego, 2009), el cual constituyó el primer instrumento internacional vinculante en materia ambiental (IPCC, 2006).

Según Schneider y Samaniego (2009), la huella de carbono, es una herramienta de difícil adopción lo que ha llevado a países como Francia, Reino Unido, Alemania y Japón a implementar diferentes iniciativas (impuestos de carbono, programas de transacción de derechos de emisión, entre otras) orientadas, en una primera etapa, a la definición de su alcance, método de contabilización y modelo de reporte, este último principalmente enfocado a cómo se dará a conocer la composición de un producto en términos de emisiones a los consumidores (Schneider y Samaniego, 2009).

La huella de carbono es un instrumento que permite ponderar la superficie de tierra requerida para asimilar todo el CO<sub>2</sub> producido por el hombre durante su vida útil (Pandey *et al.*, 2010). El cálculo de la huella de carbono considera las emisiones directas e indirectas asociadas a la elaboración de productos o servicios (Papendieck, 2010).

Las emisiones directas de GEI son aquellas que son generadas desde fuentes propias o que son controladas por la empresa, como por ejemplo, las derivadas de la combustión de gasolina en las calderas industriales (Pandey *et al.*, 2010; Schneider y Samaniego, 2009), en cambio, las emisiones indirectas son aquellas derivadas de la generación energética, fuera de los límites organizacionales, de energía, calor o vapor (Pandey *et al.*, 2010; Schneider y Samaniego, 2009)

Existen emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la organización, y que ocurren fuera de sus límites operativos, por lo que no son controladas o generadas por la organización o empresa, por ejemplo los viajes, la gestión y disposición de residuos, la producción de insumos, etc. (Schneider y Samaniego, 2009). También pueden considerarse emisiones indirecta las derivadas de la generación de electricidad en una caldera industrial, la que se genera en una planta de energía térmica, por lo que la cantidad de CO<sub>2</sub> que se libera corresponde a la generación y transmisión eléctrica y no directamente de quien la consume (Pandey *et al.*, 2010).

La metodología más aceptada, para el cálculo de la huella de carbono de productos, es la propuesta por la norma PAS2050 que permite estimar las emisiones correspondientes a su ciclo de vida (BSI, 2008). Por otro lado para una organización, la metodología más aceptada es el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte de emisiones de GEI, que permite generar reportes anuales con la finalidad de contribuir a los inventarios nacionales de emisiones (WRI, 2004).



### 2.3. Energía neta

La energía neta es el número de unidades de energía obtenida por cada unidad de energía utilizada, es decir, el cociente entre la cantidad de energía total que es capaz de producir una fuente de energía y la cantidad de energía que es necesario emplear o aportar para explotar ese recurso energético (Fore *et al.*, 2011).

Los combustibles obtenidos a partir de fuentes vegetales deben ser eficientes en reducir el efecto invernadero y su energía útil debe ser mayor a la energía consumida en su proceso de obtención (Mikkola y Ahokas, 2010; López *et al.*, 2011), para que de esta forma su utilización constituya una medida de mitigación sustentable para el cambio climático (López *et al.*, 2011).

Diversos autores han desarrollado estudios con respecto a balances energéticos, como las metodologías que ha aplicado David Pimentel para evaluar la etapa agrícola de los cultivos (Pimentel, 1980; Pimentel *et al.*, 1983; Pimentel y Patzek, de 2005; Pimentel *et al.*, 2005), analizando flujos de energía y evaluando el grado de sostenibilidad de varias especies.

En el establecimiento de los balances energéticos, no se tiene en cuenta sólo las fuentes de energía empleadas, como la electricidad y los combustibles, sino también la energía utilizada en los procesos de fabricación de otros insumos, así como por la mano de obra utilizada en el proceso de producción (Nunes *et al.*, 2010; Wiedemann, 2009).

El objetivo del cálculo de la energía neta es que a través del análisis de flujos, se pueden establecer los flujos de energía, identificar la demanda total y determinar la eficiencia energética, que se refleja en la ganancia neta (energía neta), y también se puede determinar la energía neta por la relación entre la energía invertida y la energía disponible, para esto el principal indicador utilizado es el balance energético, el cual refiere a la ganancia neta de energía por área (Nunes *et al.*, 2010).

La red de interrelaciones de energía es compleja y el tamaño de las fuentes de energía varía en función de a las características del soporte ecológico de su ubicación (Pimentel, 1992). Es por esto que se hace necesario establecer límites con respecto a los alcances de la estimación de la energía neta empleada en un cultivo (Pimentel, 1992).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Actividades Específicas

Se identificaron las prácticas agrícolas necesarias para la producción agrícola de los cultivos de guindilla (*Guindilia trinervis*), higuera (*Ricinus communis*), jatropha (*Jatropha curcas*), jojoba (*Simmondsia chinensis*) y moringa (*Moringa oleífera*) y, en base a estas, se estimó la huella de carbono (BSI, 2008) y energía neta (Nunes *et al.*, 2010).

El estudio se desarrolló en base al inventario de ciclo de vida (ICV), y de acuerdo a las directrices propuestas en norma ISO 14.040:2007 (ISO, 2007), utilizando las prácticas culturales regularmente empleadas en el cultivo de cada especie.

Se establecieron límites en torno al proceso productivo de cada cultivo, para estimar la huella de carbono y de la energía neta (Ranganathan *et al.*, 2006). Los límites del proceso productivo acotan el estudio sólo a lo requerido entorno a las actividades que se utilizarán para la producción agrícola de los cultivos, como las actividades requeridas en el campo previas al trasplante (maquinaria agrícola, enclavamiento, etc.), el trasplante (aplicación de herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.), y la cosecha (mano de obra, maquinaria, etc.) (Pandey *et al.*, 2010).

#### 3.2. Manejo agronómico

El manejo agronómico de cada especie, se determinó, mediante una exhaustiva revisión de los procesos productivos y tecnologías agrícolas utilizadas en la producción de cada una de las especies en estudio haciendo énfasis en los requerimientos previos y posteriores al proceso de trasplante, con el objetivo de identificar todos aquellos aspectos ambientales que potencialmente pudiesen generar GEI (BSI, 2008). Identificando también los factores de emisión asociados a cada una de las actividades requeridas para la producción agroforestal de cada especie (Nunes *et al.*, 2010).

##### 3.2.1. Guindilla (*Guindilia trinervis*)

Guindilla es una especie rústica, que sólo se encuentra distribuida de manera natural en Chile (Iglesias y Taha, 2010). Para establecer las prácticas culturales se realizó una homologación con el manejo de *Atriplex nummularia* (Uribe, 2011)<sup>1</sup>, ya que ambas especies presentan características estructurales y fisiológicas similares, son arbustos leñoso, erectos, perennes y poseen la capacidad de adaptarse en zonas extremas (Santa Cruz, 1997). Se estableció el mes de septiembre como el óptimo para la siembra y el mes de mayo para la cosecha, se consideró un marco de plantación de 4.444 Plantas/ha (Uribe, 2012)<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Uribe 2011, comunicación personal.

<sup>2</sup> Uribe 2012, comunicación personal.

En la Tabla N°1 se resumen las principales prácticas culturales necesarias para el establecimiento de la Guindilla en el campo.

Tabla N°1. Preparación del suelo para el establecimiento de guindilla

Actividad	Cantidad	Fuente
Arado subsolador	1 pasada/ha	Homer, 2012 <sup>3</sup>
Arado de disco	1 pasada/ha	Homer, 2012
Rastra de disco	2 pasadas/ha	Homer, 2012
Rodillo	1 pasada/ha	Homer, 2012
Arado de camellaje	1 pasada/ha	Homer, 2012
Plantación	40 JH/ha	Estimación, a partir de datos de Kingswood (2010)
Cosechadora de grano	1 pasada/ha	Homer, 2012
Pulverizador	2 pasadas/ha	Ormeño, 2005
Fertilizador	3 pasadas/ha	Uribe, 2012

Fuente: Elaboración propia.

Los macronutrientes que se recomiendan utilizar para el cultivo de la especie son, una aplicación de 60 Kg/ha de sulfato de amonio (equivalente a 12,3 kg/ha de nitrógeno puro), 30 kg/ha de fosfato monopotásico (equivalente a 15,6 kg/ha de fósforo puro) y 10,2 Kg/ha de potasio (Uribe, 2012). La aplicación de herbicidas recomendada es de 4,1 kg ha<sup>-1</sup> en base a glifosato aproximadamente (Ormeño, 2005). No se encontró información respecto de la aplicación de insecticidas y fungicidas para el cultivo de esta especie.

### 3.2.2. Higuierilla (*Ricinus communis*)

La higuierilla es una especie alóctona en Chile (Rendón y Triviño, 2009). Se recomienda realizar la plantación en Noviembre, para así aprovechar las condiciones de luminosidad de la época estival (Rico, *et al.*, 2011). El mes recomendado para la cosecha es Abril (Da Silva y Pérez, 2010). La densidad de siembra recomendado es de 4.000 plantas/ha (Ramírez, 2008).

En la Tabla N°2 se resumen las principales prácticas culturales necesarias para el establecimiento de la higuierilla en el campo.

<sup>3</sup>Homer 2012, comunicación personal.

Tabla N°2. Preparación del suelo para el cultivo de higuierilla

Actividad	Cantidad	Fuente
Arado de disco	1 pasada/ha	Homer, 2012
Rastra de disco	2 pasadas/ha	Homer, 2012
Plantación	36 JH/ha	Estimación, a partir de datos de Kingswood (2010)
Cosechadora de grano	5 pasadas/ha	Rico, <i>et al.</i> , 2011
Pulverizador	3 pasadas/ha	Samayoa, 2007
Fertilizador	2 pasadas/ha	Samayoa, 2007

Fuente: Elaboración propia.

Los requerimientos de macronutrientes recomendados para el cultivo de esta especie son, una aplicación de 40 Kg/ha de fertilizantes nitrogenados, 40 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizantes fosforados y 40 Kg/ha de fertilizantes potásicos (Samayoa, 2007). La aplicación de herbicidas necesaria es de 1,43 kg/ha de glifosato aproximadamente, en cambio, la aplicación de insecticidas requerida es de 0,12 kg/ha de Volatón (Samayoa, 2007). No se encontró información acerca de la aplicación de fungicidas.

### 3.2.3. *Jatropha* (*Jatropha curcas*)

La *jatropha* es una especie introducida a Chile, y es originaria de México y Centroamérica (Alfonso, 2008). El mes óptimo para la siembra de esta especie es en septiembre (Torres, 2012), y para la cosecha en mes de febrero. Este especie logra su maduración y producción óptima al quinto año (Torres, 2012). La densidad de siembra que se recomienda para la especie es de 3.333 plantas/ha (Kingswood, 2010).

En la Tabla N°3 se resumen las principales prácticas culturales necesarias para el establecimiento de la *Jatropha* en el campo.

Tabla N°3. Preparación del suelo para el cultivo de *jatropha*

Actividad	Cantidad	Fuente
Arado de vertedera	1 pasada/ha	Arancibia <i>et al.</i> , 2007
Rastra de disco	2 pasadas/ha	Arancibia <i>et al.</i> , 2007
Plantación	30 JH/ha	Kingswood, 2010
Cosechadora de grano	1 pasada/ha	Arancibia <i>et al.</i> , 2007
Pulverizador	6 pasadas/ha	Kingswood, 2010
Fertilizador	1 pasada/ha	Kingswood, 2010

Fuente: Elaboración propia.

Los requerimientos de macronutrientes recomendados para el cultivo de la especie son, una aplicación de 23 Kg/ha de urea (equivalente a 12,8 kg/ha de nitrógeno puro) el primer año, 76 kg/ha de superfosfato triple (equivalente a 35 kg/ha de fósforo puro) y 16 kg/ha de nitrato de potasio (equivalente a 7 kg/ha de potasio puro) (Kingswood, 2010). Para la aplicación de herbicidas se necesitan aproximadamente 5,9 kg/ha cada año (Kingswood, 2010), con respecto a la aplicación de insecticidas la especie requiere 0,008 kg/ha por año y de fungicida 5,6 kg/ha cada año (Carrizo, 2011).

La especie responde a la aplicación de nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos por lo que se aconseja aplicar durante el trasplante y primer año fertilizantes químicos y a partir del segundo año proceder a aplicar una combinación químico-orgánica, distribuyendo al pie de las plantas los residuos de la cosecha (Alfonso, 2008).

### 3.2.4. Jojoba (*Simmondsia chinensis*)

La jojoba es un arbusto originario del desierto de Sonora, en el norte de México (Botti, 2011). Esta especie crece bien en suelos sueltos de textura liviana a media, con un drenaje adecuado y con penetración de agua, por lo mismo no prospera adecuadamente en suelos pesados o con mala aireación (Acevedo, 1984).

El trasplante de la jojoba desde, el invernadero al campo, debe realizarse cuando las plántulas tengan entre 8 y 10 hojas (Acevedo, 1984). El mes de septiembre es el óptimo para la siembra, debido a las buenas condiciones climáticas para la especie, y para la cosecha en marzo, al tercer año (Torres, 2012). Se pueden lograr una óptima maduración a los 8-9 años desde la instauración del cultivo, y su marco de siembra recomendado es de 1.250 plantas/ha (Botti, 2001).

En la Tabla N°4 se resumen las principales prácticas culturales necesarias para el establecimiento de la Jojoba en el campo.

Tabla N°4. Preparación del suelo para el cultivo de jojoba.

Actividad	Cantidad	Fuente
Arado subsolador o cincel	1 pasada/ha	Botti, 2011
Rastra de disco	2 pasadas/ha	Botti, 2011
Plantación	11 JH/ha	Botti, 2011
Cosechadora de grano	1 pasada/ha	Botti, 2011
Pulverizador	11 pasadas/ha	Botti, 2011
Fertilizador	1 pasada/ha	Botti, 2011

Fuente: Elaboración propia.

El nitrógeno es necesario en la fertilización, debido a que este nutriente es el más absorbido por la planta, por lo que se hace muy importante asegurar el abastecimiento de este, en el período de crecimiento de los frutos (Botti, 2001). De no asegurar un óptimo suministro de nitrógeno los frutos (cápsulas) permanecerían cerrados impidiendo la liberación de la semilla (Botti, 2001). Las dosis recomendadas, en plantaciones adultas, oscilan entre 50 y 120 Kg de N/ha año, dependiendo de la fertilidad natural del suelo (Botti, 2001).

Los macronutrientes que la especie requiere son, una aplicación de 85 Kg/ha de nitrogenados por año y no se requiere la aplicación de fosforados y potásicos (Botti, 2001). Para la aplicación de herbicidas se necesitan aproximadamente 5,4 kg/ha de gramoxome (i.a.paraquat) por año, con respecto a la aplicación de insecticidas se requiere 1,6 kg/ha de Parathion 80 EC (metil paration) por año, y con respecto a los fungicidas se necesita una aplicación de 3,04 kg/ha de Captan 80 WP (Captan) por año (Molinos, 1994).

### 3.2.5. Moringa (*Moringa oleífera*)

La Moringa será homologada con *Persea americana*, debido a que poseen un hábito de crecimiento y un sistema radicular muy similar (Uribe, 2011)<sup>4</sup>. Se debe considerar que sobre Moringa no existe mucha información con respecto al manejo del cultivo.

El mes óptimo para la siembra o trasplante del individuo es en septiembre (Reyes, 2004), debido a que en esta época las condiciones climáticas son más favorables para la especie, y para la cosecha en abril. La especie necesita un margen de tiempo de dos años para generar frutos (Roloff y Weisgerber, 2009), y una densidad de siembra de 1.100 plantas/ha (Uribe, 2011).

En la Tabla N°5 se resumen las principales prácticas culturales necesarias para el establecimiento de la Moringa en el campo.

Tabla N°5. Preparación del suelo para el cultivo de moringa.

Actividad	Cantidad	Fuente
Arado	1 pasada/ha	Reyes, 2006
Rastra de disco	2 pasadas/ha	Reyes, 2006
Plantación	11 JH/ha	Estimación, a partir de datos de Kingswood (2010)
Cosechadora de grano	1 pasada/ha	Homer, 2012
Pulverizador	2 pasadas/ha	Homer, 2012
Fertilizador	2 pasadas/ha	Reyes, 2006

Fuente: Elaboración propia.

<sup>4</sup>Uribe 2011, comunicación personal.

Los macronutrientes recomendados para el cultivo de la especie son, una aplicación de 180 Kg/ha de urea (equivalente a 82,6 kg/ha de nitrógeno puro), 60 kg/ha de fosforados y potásicos cada año (Reyes, 2006). Para la aplicación de herbicidas se necesitan aproximadamente 4,1 kg/ha de cada año, con respecto a la aplicación de insecticidas y fungicidas no se encontró información (Reyes, 2006).

### 3.3. Estimación de la Huella de Carbono

La estimación de la huella de carbono de los cultivos se realizó mediante la adaptación del protocolo de GEI (Ranganathan *et al.*, 2006) y la norma PAS 2050:2008 (BSI, 2008). La norma PAS 2050:2008 se utilizó para establecer lineamientos para estimar la huella de carbono, la cual se emplea específicamente para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de GEI de bienes y servicios (PAS 2050, 2008), contabilizando los principales GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) establecidos por el Protocolo de Kyoto (Naciones Unidas, 1998). La estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Ecuación N°1) se realizó según el protocolo del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2006).

La metodología de estimación de la huella de carbono propuesta por Pandey *et al.* (2010), incluye las ecuaciones que permiten considerar la producción de los cultivos (herbicidas, insecticidas, fertilizantes, combustible, etc.). La adaptación de la metodología permitió analizar a los cultivos en estudio y sus requerimientos productivos (Pandey *et al.*, 2010).

Emisiones de CO<sub>2</sub> [Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006]

$$CO_2 - e = A * Ef \quad (1)$$

Donde,

- $CO_2 - e$  = Cantidad de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera (ton CO<sub>2</sub>-e).
- $A$  = Datos de la actividad relacionados con la fuente de emisión (puede ser superficie, fertilizantes, herbicidas, insecticidas, combustible, etc.) (ton/ha).
- $Ef$  = Factor de emisión para un gas y una categoría de fuente específicos, (ton por unidad de A).

En la estimación de las emisiones que no corresponden a CO<sub>2</sub> se utiliza como factor de corrección el Potencial de Calentamiento Global (Tabla N°6) de cada gas, el cual corresponde al potencial que posee una sustancia para irradiar Radiación Infrarroja (RI) en la atmósfera, calculado sobre un período de 100 años y su uso permite representar las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de manera equivalente a emisiones de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2006), lo cual se representa en la ecuación N°2.

$$Hc = Q * (FE_{CO_2} * PCG_{CO_2} + FE_{CH_4} * PCG_{CH_4} + FE_{N_2O} * PCG_{N_2O}) \quad (2)$$

Donde,

- $HC$  = Huella de carbono (Ton CO<sub>2</sub>-e).
- $Q$  = Datos de la actividad relacionados con la fuente de emisión (unidad).
- $FE_i$  = Factor de emisión (masa de gas  $i$  unidad<sup>-1</sup>).
- $PCGi$  = Potencial de calentamiento global del gas  $i$  (adimensional).

El factor de emisión permite estimar emisiones de GEI a partir de los datos de actividades disponibles (como toneladas de combustible consumido, toneladas de producto producido, etc.) y las emisiones totales de GEI (Ranganathan *et al.*, 2006), la aplicación de los factores de emisión utilizados en las estimaciones se pueden apreciar en los apéndices N°9, N°10, N°11, N°12 y N°13.

Tabla N°6. Potencial de Calentamiento Global de los principales GEI considerados para la medición de la  $HC$ .

Compuesto	Fórmula Química	PCG
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	25
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	298

Fuente: IPCC, 2007.

Entre las emisiones generadas se encuentran las emisiones directas e indirectas, las cuales definen tres tipos de alcances para propósitos de reporte y contabilidad de GEI (alcance 1, alcance 2 y alcance 3) (Ranganathan *et al.*, 2006).

- **Alcance 1 (Emisiones directas de GEI):** Son todas aquellas emisiones que son generadas a partir de fuentes que son propiedad o que son controladas por la empresa.
- **Alcance 2 (Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad):** Son todas aquellas emisiones generadas a partir de la electricidad adquirida y consumida por la empresa. La electricidad adquirida corresponde a la electricidad que es comprada, o traída dentro de los límites organizacionales. Estas emisiones ocurren físicamente en la planta donde esta electricidad es generada.
- **Alcance 3 (Otras emisiones indirectas):** Son todas aquellas emisiones generadas a consecuencia de las actividades de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la misma. Son de uso opcional.



### 3.4. Estimación de la energía Neta

El cálculo estimado de la energía neta se realizó a partir de ecuaciones propuestas en el estudio de flujo de energía en la semilla de higuera (*Ricinus communis L.*) en sistemas de producción de Nunes *et al.* (2010) y el de balance energético en la plantación y administración de cultivos para cobertura de suelo de Siqueira *et al.* (1999).

El balance energético o energía neta ( $En = Be$ ) se refiere a la relación de la energía disponible y la energía requerida por un sistema de producción, según la Ecuación N°3 (Siqueira *et al.*, 1999).

$$En = Fs - Fe \quad (3)$$

Donde,

- $En$  = Energía neta ( $MJ ha^{-1}$ ).
- $Fs$  = Flujo de energía de salida ( $MJ ha^{-1}$ ).
- $Fe$  = Flujo de energía de entrada ( $MJ ha^{-1}$ ).

El flujo de entrada de energía se compone por un flujo de entrada directo y uno indirecto, y se determinan multiplicando el flujo de materiales y la energía incorporada en el proceso de obtención de los mismos.

$$Fe = Fd + Fi \quad (4)$$

Donde,

- $Fd$  = Flujo directo ( $MJ ha^{-1}$ ).
- $Fi$  = Flujo indirecto ( $MJ ha^{-1}$ ).

En esta sección, los pasos para la determinación del flujo de material se muestran a continuación:

Estimación del flujo de entrada de insumos de aplicación directa, estos se establecen determinado los insumos que se implementan directamente en el campo, la energía incorporada en cada uno de ellos, según la Tabla N°7.

$$Fd = \Sigma (74 * (N) + 12.6 * (P) + 6.7 * (K) + 1.7 * (Cal) + 254.67 * (Herb.) + 184.79 * (Insect.) + 97.17 * (Fung.) + Fc * (Semillas o plántulas) 47.8 (Petróleo) \quad (5)$$

Tabla N°7. Energía incorporada en los insumos agrícolas.

Valores	Unidades	Equivalencias	
		(MJ)	Fuentes
<b>Petróleo</b>	L	47,8	Fluck, 1992
<b>Nitrógeno</b>	Kg	74,0	Pellizzi, 1992
<b>Fósforo</b>	Kg	12,6	Pellizzi, 1992
<b>Potasio</b>	Kg	6,7	Pellizzi, 1992
<b>Cal</b>	Kg	1,7	Pellizzi, 1992
<b>Herbicida</b>	Kg	254,67	Pimentel, 1980
<b>Insecticida</b>	Kg	184,79	Pimentel, 1980
<b>Fungicida</b>	Kg	97,17	Pimentel, 1980
<b>Jornadas Hombre</b>	8 Hrs.	18,2	Fluck, 1981
<b>Semillas</b>	Kg	20,4 higuera	Campos <i>et al.</i> , 1998
<b>Maquinaria</b>	Kg		
tractor		109,0	Fluck, 1992
arado		66,8	Fluck, 1992
rastra		64,0	Fluck, 1992

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Hetz y Bórquez (1987) y Nunez *et al.* (2010).

Para la estimación del flujo de entrada de insumos indirectamente aplicados, se incluye la capacidad operacional del campo, la energía utilizada en la fabricación y mantención de la maquinaria agrícola, y la mano de obra.

$$Fi = \frac{Md * Lb}{Ofc} \quad (6)$$

Donde,

- $Fi$  = Flujo indirecto ( $MJ \text{ ha}^{-1}$ ).
- $Ofc$  = Capacidad Operacional de campo ( $\text{ha h}^{-1}$ ).
- $Md$  = Energía utilizada en la fabricación y mantención de la maquinaria agrícola ( $MJ \text{ ha}^{-1}$ ).
- $Lb$  = Trabajo humano ( $\text{h ha}^{-1}$ ).

El cálculo del flujo de material se determinó a partir de la inversión del tiempo empleado por unidad de superficie por las operaciones mecanizadas a realizar (Ecuación N°7).

$$Ofc = \frac{1}{t} \quad (7)$$

Donde,

- $Ofc$  = Capacidad Operacional de campo ( $ha\ h^{-1}$ ).
- $t$  = Tiempo empleado en las operaciones de mecanizado ( $h\ ha^{-1}$ ).

La energía utilizada en la fabricación y mantención de la maquinaria agrícola considera la masa de la maquinaria, su tiempo de vida útil y la capacidad operacional de campo (Ecuación N°8). El concepto de depreciación física de una máquina se basa en la cantidad de masa metálica que se requerirá en la construcción de una nueva maquinaria con el fin de reemplazarla después de su vida útil. La depreciación de material indica la convergencia de los recursos naturales, por ejemplo, minerales, el hierro y carbón consagrado en el acero, el aceite consagrado en los neumáticos etc., estas energías indirectamente se introducen en el sistema de producción.

$$Md = \frac{W * Fc}{(Ofc * Ul)} \quad (8)$$

Donde,

- $Md$  = energía utilizada en la fabricación y mantención de la maquinaria agrícola ( $MJ\ ha^{-1}$ ).
- $W$  = masa de la máquina ( $kg$ ).
- $Ofc$  = Capacidad Operacional de campo ( $ha\ h^{-1}$ ).
- $Ul$  = el tiempo de vida útil de la máquina ( $h$ ).
- $Fc$  = Factor de conversión energético de la maquinaria ( $MJ\ kg^{-1}$ )

Mano de obra para las operaciones manuales, como conducir o la mezcla plaguicidas en los tanques de pulverizador, se determinó por el cantidad de trabajo considerados en el hombre-día (dos hombres que trabajan medio día o un hombre de trabajo todo el día es un hombre-día ( $Man(day)$ ) y la jornada de trabajo diaria (Ecuación N°9).

$$Lb = Man(day) * Lh \quad (9)$$

Donde,

- $Lb$  = Trabajo humano ( $h\ ha^{-1}$ ).
- $Man(day)$  = la cantidad de trabajo por operación ( $día\ ha^{-1}$ ).
- $Lh$  = las horas de trabajo por día ( $8\ horas\ día^{-1}$  en este estudio).

El flujo de salida se medirá a través de la multiplicación rendimiento del cultivo, el cual será medido por la cantidad de semillas o aceite obtenido por hectárea, y la equivalencia energética respectiva (Ecuación N°10)

$$Fs = Y * E \quad (10)$$

Donde,

- $Fs$  = Flujo de energía de salida ( $\text{MJ ha}^{-1}$ )
- $Y$  = Rendimiento del cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).
- $E$  = Equivalencia Energética ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ).

### Indicadores energéticos:

La energía de retorno sobre la inversión (ERSI), es uno de los indicadores considerados para determinar el balance energético de un cultivo (Nunes *et al.*, 2010), se refiere a la proporción de energía puesta a disposición por la energía requerida en un proceso, la que se puede entender como "La energía de rentabilidad" (Nunes *et al.*, 2010).

$$ERSI = \frac{(Fs - Fe)}{Fe} \quad (11)$$

Donde,

- $Fs$  = Flujo de salida ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ).
- $Fe$  = Flujo de entrada ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ).
- $ERSI$  = energía de retorno sobre la inversión ( $\text{MJ/MJ}$ ), nos entrega un valor numérico de rentabilidad.

La energía incorporada por unidad del producto obtenido (EI), es un indicador considerado para determinar el balance energético de un cultivo (Nunes *et al.*, 2010), La EI es un indicador muy importante para los productos que no tienen uso energético sobre sus cultivos, ya que relaciona el flujo de entrada de energía con el rendimiento del cultivo (Nunes *et al.*, 2010).

$$EI = \frac{Fe}{Y} \quad (12)$$

Donde,

- $EI$  = Energía incorporada ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ).
- $Y$  = Rendimiento del cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).
- $Fe$  = Flujo de Entrada ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Proceso productivo

Los cálculos de la huella carbono (BSI, 2008) y de la energía neta de los cultivos (Nunes *et al.*, 2010), consideraron desde el establecimiento de las plántulas en el terreno hasta la obtención de las semillas. Se consideraron fuentes de trabajos de índole similar (López *et al.*, 2011; Mikkola *et al.*, 2011; Glauber *et al.*, 2010; Nunes *et al.*, 2010). Las especies Guindilla e higuerrilla producen, frutos y semillas, al primer año de cultivo (Uribe, 2012; Da silva y Pérez, 2010), por lo que se consideraron aplicaciones de nitrógeno, fósforo, potasio, herbicidas, insecticidas y fungicidas sólo durante el primer año (Uribe, 2012; Samayoa, 2007; Ormeño 2005). Para las especies Moringa, Jatropha y Jojoba que requieren más tiempo para obtener rendimientos, se establecieron estas aplicaciones para un período de 3, 5 y 9 años respectivamente, hasta la obtención de frutos y semillas (Roloff y Weisgerber, 2009; Reyes, 2004; Torres, 2012; Botti, 2011).

### 4.2 Huella de carbono

Para realizar la estimación de la huella de carbono de cada uno de los cultivos, fue necesario analizar tanto las fuentes de emisiones directas como las de indirectas, para las cuales se definen tres tipos de alcances para propósitos de reporte y contabilidad de GEI (alcance 1, alcance 2 y alcance 3) (Ranganathan *et al.*, 2006).

El total de emisiones obtenidas por especie para cada uno de los alcances mencionados se puede apreciar en la Tabla N°8.

Tabla N°8. Huella de carbono (Ton CO<sub>2</sub>-e) de los cultivos en estudio.

Alcance	Unidades	<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Alcance 1	Ton CO <sub>2</sub> -e	15,94	16,28	18,33	24,78	18,39
Alcance 2	Ton CO <sub>2</sub> -e	0,20	0,16	1,01	0,68	0,20
Alcance 3	Ton CO <sub>2</sub> -e	0,4	0,71	2,12	6,20	1,74
Huella de carbono	Ton CO <sub>2</sub> -e	16,55	17,15	21,45	31,66	20,32

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados de las emisiones totales, se puede apreciar que las emisiones de alcance 1 (Figura N°1, Tabla N°8) fueron las más representativas, debido a que de los tres alcances mencionados las emisiones comprendidas en el alcance 1 obtuvieron un 88% del total, y debido, principalmente, a la gran cantidad (15,4 Ton CO<sub>2</sub>-e) de emisiones generadas por el cambio de uso de suelo para cada uno de los cultivos (Tabla N°9).

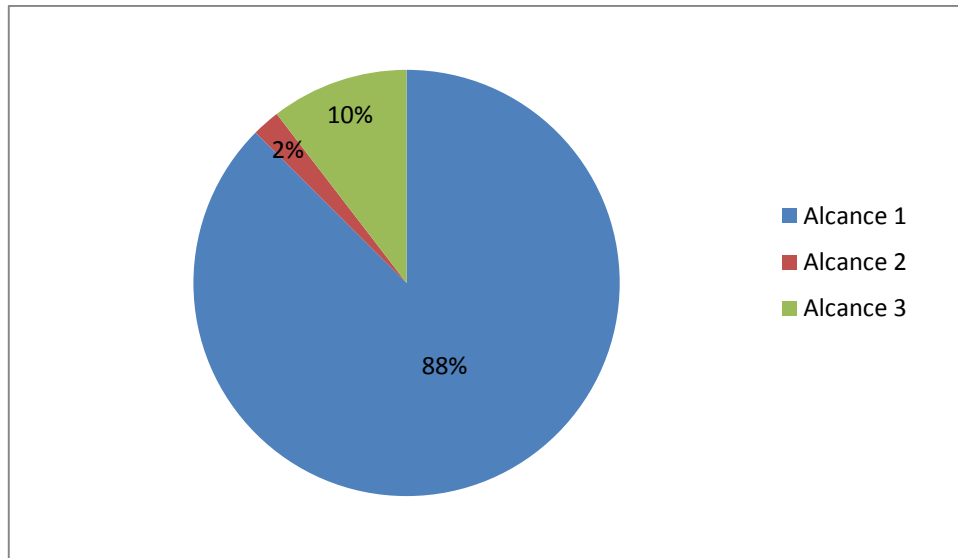


Figura N°1. Porcentaje de aporte de los alcances 1, 2 y 3 a la huella de carbono total.

#### 4.2.1. Alcance 1

Los valores obtenidos de la estimación de las emisiones de GEI de alcance 1, para cada cultivos en estudio, con respecto a cada una de las variables involucradas en este alcance, varían entre 15,94 y 19,93 Ton CO<sub>2</sub>-e, y se resumen en la Tabla N°9.

Tabla N°9. Alcance 1 (Ton CO<sub>2</sub>-e) de los cultivos en estudio.

Alcance 1	Unidades	<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Cambio uso de suelo	Ton CO <sub>2</sub> -e	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
Combustible utilizado por maquinaria agrícola	Ton CO <sub>2</sub> -e	0,42	0,48	0,69	1,73	0,5
Fertilizantes (NPK)	Ton CO <sub>2</sub> -e	0,12	0,4	2,24	2,25	2,48
<b>Totales</b>	Ton CO <sub>2</sub> -e	15,94	16,28	18,33	19,38	18,39

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones determinantes para el alcance 1 son aquellas asociadas al cambio de uso de suelo (Tabla N°9), y representan 15,4 Ton CO<sub>2</sub>-e ha<sup>-1</sup>, con un aporte de un 87% al total de emisiones del alcance (Figura N°2). Estos valores están dentro del rango de emisiones establecidas por la norma PAS 2050 para el cambio de uso de suelo forestal en Argentina, Canadá y Estados Unidos, que es de 17 Ton CO<sub>2</sub>-e ha<sup>-1</sup> (BSI, 2008), y es muy cercano a los

valores de emisiones señalados para el cambio de uso de suelo en Finlandia de 15 Ton CO<sub>2</sub>-e ha<sup>-1</sup> y Francia de 18 Ton CO<sub>2</sub>-e ha<sup>-1</sup>, respectivamente (BSI, 2008).

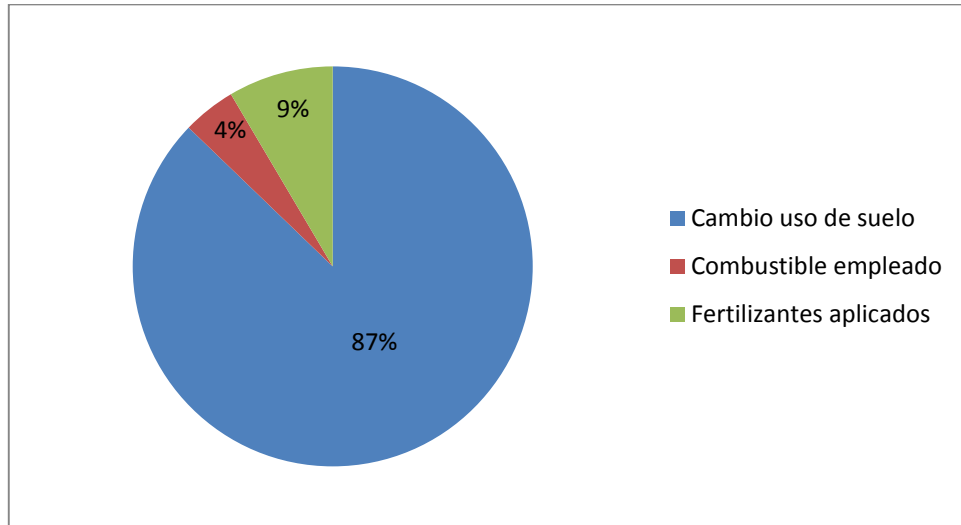


Figura N°2. Porcentaje de aporte de las emisiones de alcance 1.

En la Tabla N°9 se resumen las emisiones de alcance 1 para cada una de las especies en estudio, la jojoba presentó la mayor cantidad de emisiones de este alcance (Figura N°3), y esto se debe principalmente a la cantidad de fertilizantes nitrogenados que esta especie requiere al implantar el cultivo (Botti, 2001), siendo esta cantidad muy superior a las de las aplicaciones de las demás especies y también se puede atribuir esta mayor cantidad de emisiones al ciclo de vida de la especie (9 años) (Botti, 2001). La guindilla es la especie que presentó un menor alcance 1 y ese debe a que esta especie requiere de una menor cantidad de enmiendas agrícolas (Uribe, 2012), ya que este cultivo rústico posee un ciclo de vida más corto (1 año) que el de las demás especies.

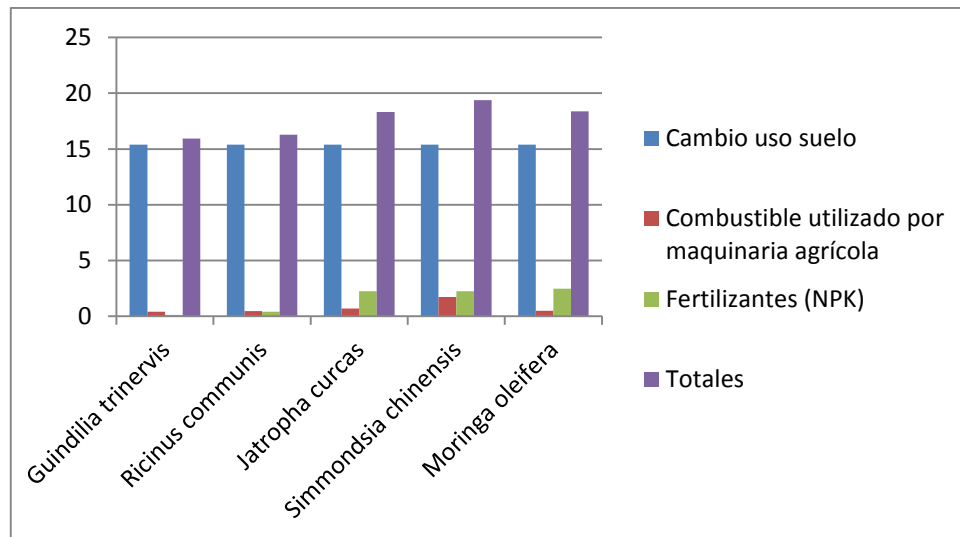


Figura N°3. Gráfico alcance 1 (Ton CO2-e) de los cultivos en estudio.

#### 4.2.2. Alcance 2

Los valores obtenidos de la estimación de las emisiones de GEI de alcance 2 de cada uno de los cultivos en estudio, específicamente con respecto a uso de la bomba de riego, se resume en la Tabla N°10.

Tabla N°10. Alcance 2 (Ton CO2-e) de los cultivos en estudio.

Alcance 2	Unidades	<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Emisiones asociadas al uso de bomba de riego	Ton CO2-e	0,20	0,16	1,01	0,68	0,20
<b>Totales</b>	Ton CO2-e	<b>0,20</b>	<b>0,16</b>	<b>1,01</b>	<b>0,68</b>	<b>0,20</b>

Fuente: Elaboración propia.

La jatropha fue la especie que presentó el mayor número de emisiones, asociadas al alcance 2, con respecto al riego (Figura N°4), y esto se debe principalmente a que esta especie presenta una alta evapotranspiración [ $60,8 \text{ mm mes}^{-1}$  (Tabla N°47)], y por ende una alta demanda hídrica (Cheenpracha *et al.*, 2010; Vallejos *et al.*, 2011; Tobares *et al.*, 2004; Sánchez, 2001; Uribe, 2012). También debe considerarse que su marco de plantación es de 3.333 plantas/ha, y que la producción del cultivo se estabiliza al quinto año, por lo que el riego se estimó hasta la estabilización. La jobo también presentó altos valores de emisiones



de alcance 2 (Figura N°4), debido a que su ciclo de vida es de 9 años, el más largo de las especies en estudio, por lo que requiere un mayor periodo de riego (Botti, 2001).

La higuera presentó el menor valor de emisiones de CO<sub>2</sub>-e de alcance 2 (Figura N°4), lo que se debe principalmente a que esta especie presenta una menor demanda hídrica, al tener una baja evapotranspiración [35,7 mm mes<sup>-1</sup> (Tabla N°47)], y también a su menor ciclo de vida, con respecto a las especies en estudio, por lo que requiere un menor tiempo de riego.

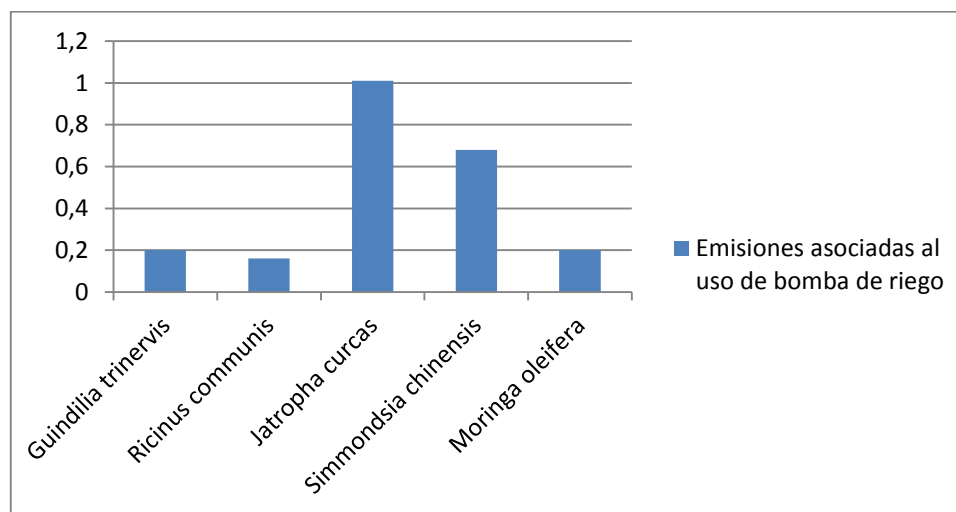


Figura N°4. Gráfico alcance 2 (Ton CO<sub>2</sub>-e) de los cultivos en estudio.

Los cálculos para establecer las emisiones generadas a partir del uso de bombas para el riego de cada uno de los cultivos en estudio se resumen en el Apéndice N°7.

#### 4.2.3. Alcance 3

Los valores obtenidos de la estimación de las emisiones de GEI de alcance 3 de cada uno de los cultivos en estudio, con respecto a cada una de las variables involucradas en este alcance, se resumen en la Tabla N°11.

Tabla N°9 Alcance 3 (Ton CO<sub>2</sub>-e) de los cultivos en estudio.

Alcance 3	Unidades	<i>Guindilla trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Emisiones elaboración de combustible	Ton CO <sub>2</sub> -e	0,08	0,09	0,13	0,33	0,10

Alcance 3	Unidades	<i>Guindilla trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Emisiones elaboración fertilizantes	Ton CO2-e	0,16	0,57	1,8	1,27	1,51
Emisiones elaboración aplicaciones	Ton CO2-e	0,16	0,05	0,19	0,52	0,13
<b>Totales</b>	Ton CO2-e	0,4	0,71	2,12	2,12	1,74

Fuente: Elaboración propia.

Las especies de jobjoba y jatropha, fueron las que presentaron mayor valor de emisiones de GEI de alcance 3 (Figura N°5). Que los valores de GEI obtenidos sean altos, se debe principalmente a que estas especies necesitan un tiempo mayor de cultivo para obtener semillas (Botti, 2001; Torres, 2012) y un mayor número de macronutrientes (Kingswood, 2010; Carrizo, 2011; Alfonso, 2008; Botti, 2001; Torres, 2012). La guindilla fue la especie que presentó un menor alcance 3 y se debe principalmente a su corto ciclo de vida y bajo número de enmiendas agrícolas que requiere (Ormeño, 2005; Uribe, 2012).

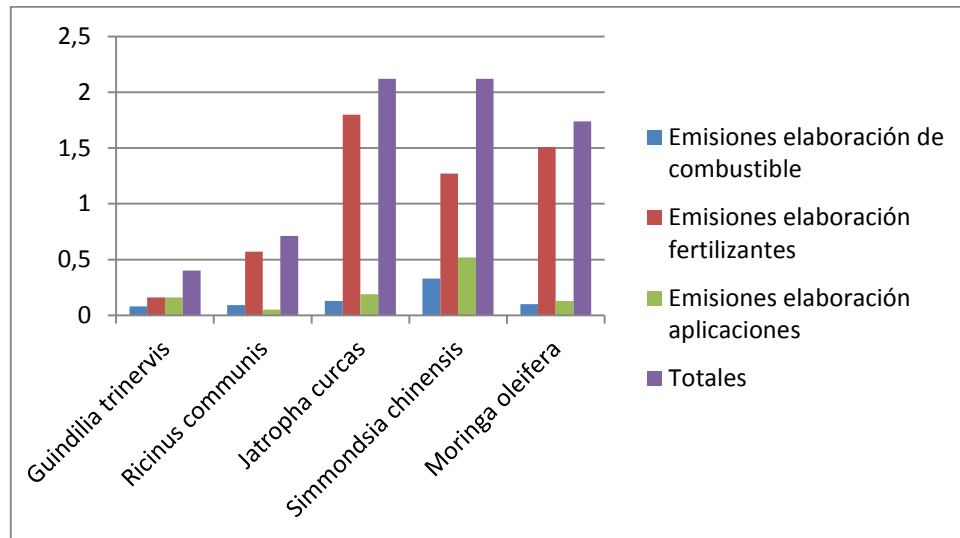


Figura N°5. Gráfico alcance 3 (Ton CO2-e) de los cultivos en estudio.

La Figura N°6 muestra de los resultados de las emisiones de GEI obtenidos en el alcance 3. Las emisiones GEI de mayor importancia dentro del total fueron las generadas en la elaboración de los fertilizantes, lo cual constituyó un 75% del total (Figura N°6). Las emisiones generadas por la elaboración de combustible y por la elaboración de aplicaciones, presentaron emisiones similares, con un 10% y 15% del total respectivamente (Figura N°6).

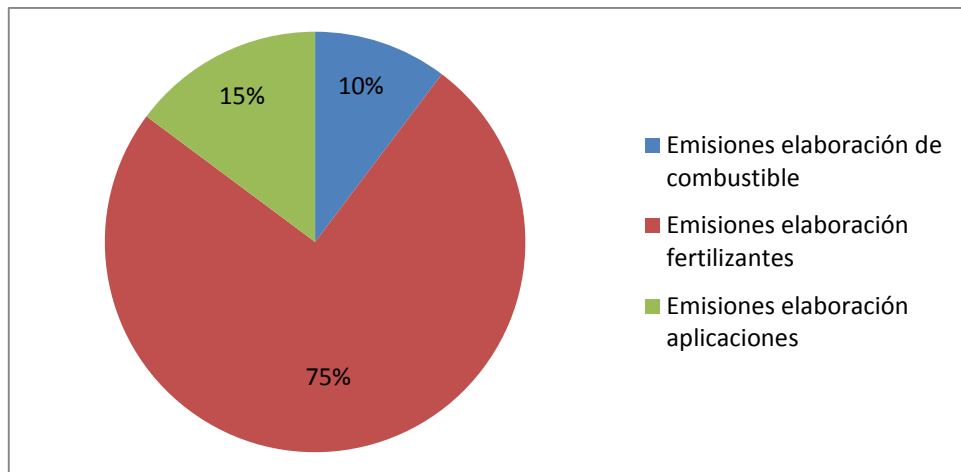


Figura N°6. Porcentaje de aporte de las emisiones de alcance 3.

### 4.3. Energía neta

Los resultados de los cálculos de los flujos de energía de los procesos productivos de cada una de las especies estudiadas se resume en la Tabla N°12.

Tabla N°10. Energía neta cultivos en estudio

Variable	Unidades	<i>Guindilla trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Flujo de salida	MJ * ha <sup>-1</sup>	18.158,8	115.040,0	192.000,0	490.305,6	80.040
Flujo de entrada	MJ * ha <sup>-1</sup>	17.308,7	19.151,4	34.255,2	109.149,5	15.197,6
Energía neta	MJ * ha <sup>-1</sup>	850,2	95.888,6	157.744,8	381.156,1	64.842,4

Fuente: Elaboración propia.

La jojoba presentó un valor de energía neta de 381.156 MJ \* ha<sup>-1</sup>, y representa el más alto entre las especies en estudio (Figura N°7 y Tabla N°12). Esto se debe, principalmente, a que este cultivo presenta un alto rendimiento [18.910 kg \* ha<sup>-1</sup> (Jones, K. 2003)] generando un flujo de salida de cultivo también alto [490.306 MJ \* ha<sup>-1</sup> (Figura N°7 y Tabla N°12)] en comparación con las especies en estudio. La jojoba estabiliza su producción de frutos al noveno año (Botti, 2001), por lo que el cálculo del flujo de salida se proyectó a través de la sumatoria de las producciones obtenidas en ese período. El flujo de entrada para el cultivo de higuerilla (19.151,4 MJ \* ha<sup>-1</sup>), fue muy similar al obtenido por Glauber *et al.*, 2010 (10.860,56 MJ \* ha<sup>-1</sup>) en el balance energético para la producción de biodiesel a partir del cultivo de higuerilla.

La guindilla fue especie que obtuvo la menor valor de energía neta con 850 MJ \* ha<sup>-1</sup> (Figura N°7 y Tabla N°12), lo cual se debe a que la productividad de esta especie es muy baja [789 kg \* ha<sup>-1</sup> (Uribe, 2012)]. El bajo valor de la energía neta, influye en que esta especie tenga un flujo de salida de 18.159 MJ \* ha<sup>-1</sup> (Figura N°7 y Tabla N°12), el cual es muy bajo en comparación con las demás especies, y se estimó a partir de la energía neta de su primer año productivo (Uribe, 2012).

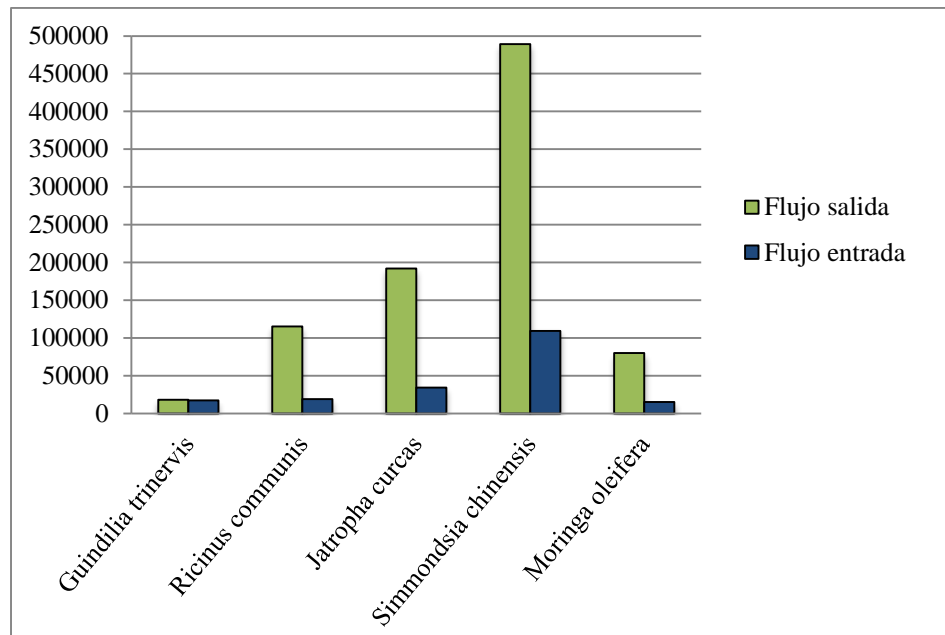


Figura N°7. Gráfico Flujos de energía por cultivo (MJ \* ha-1).

Para medir o ponderar los resultados obtenidos del balance energético de los cultivos se utilizaron el indicador de energía de retorno sobre la inversión (ERSI) (Nunes *et al.*, 2010), y el de energía incorporada (EI) (Nunes *et al.*, 2010). El indicador ERSI hace un balance entre el flujo de entrada y el flujo de salida (Nunes *et al.*, 2010), mientras que el indicador EI, se establece a partir del flujo de entrada de energía con respecto al rendimiento del cultivo (semillas) (Nunes *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos de estos dos indicadores se resumen en la Tabla N°13.

Tabla N°11. Indicadores balance energético

Indicador	Unidad	<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
ERSI	MJ/MJ	0,049	5,006	4,605	3,480	4,267
EI	MJ/Kg	21,937	4,788	4,282	5,772	5,065

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados, resumidos en la Tabla N°13, se puede establecer que la especie que obtuvo el indicador de ERSI más alto fue la higuierilla (5,006 MJ/MJ), lo cual se debe principalmente a que esta especie presentó un bajo flujo de entrada y un alto flujo de salida (alto número de semillas en su producción). El indicador ERSI sugiere que la higuierilla es la especie más rentable energéticamente, entre las que se estudiaron. La guindilla fue la especie que presentó un valor menor del indicador ERSI (0,049 MJ/MJ), y esto se puede explicar por

la baja productividad estimada de esta especie (Uribe, 2012), lo cual, la hace poco rentable a nivel energético.

Los resultados del indicador de EI, resumidos en la Tabla N°13, sugieren que la guindilla es la especie que obtuvo el valor más alto de EI (21,937 MJ/Kg), y esto se debe a que el rendimiento del cultivo es bajo [789 kg \* ha<sup>-1</sup> (Uribe, 2012)] con respecto a la energía invertida. Sin embargo, la jatropha fue la especie que obtuvo el menor valor del indicador de EI (4,282 MJ/Kg), y esto se debe a que esta especie logró un alto rendimiento [8.000 kg \* ha<sup>-1</sup> (Da Silva, A. y R. Pérez. 2010)] con respecto a la energía invertida.

#### 4.3.1. Flujo de entrada

Los resultados obtenidos para el flujo de entrada de la energía neta de cada uno de los cultivos en estudio se resumen en la Tabla N°14:

Tabla N°12. Flujo entrada de los cultivos

Variable	Unidades	Guindilla trinervis	Ricinus communis	Jatropha curcas	Simmondsia chinensis	Moringa oleifera
Flujo directo	MJ ha <sup>-1</sup>	16875,5	18744,7	33851,4	108930,0	14985,7
Flujo indirecto	MJ ha <sup>-1</sup>	433,2	406,6	403,9	219,5	211,8
Total	MJ ha <sup>-1</sup>	17308,7	19151,4	34255,3	109149,5	15197,6

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.3.1.1. Flujo directo

Las variables utilizadas para calcular el flujo directo, del flujo de entrada para la energía neta de cada uno de los cultivos, fueron los fertilizantes (NPK), herbicidas, insecticidas, fungicidas, plántulas y los litros de petróleo utilizado por la maquinaria agrícola en el campo (Nunes *et al.*, 2010). Las cantidades utilizadas y factores de conversión energética utilizados se resumen en la Tabla N°15.

Tabla N°13. Flujo directo de los cultivos

Variable	Unidades	Guindilla trinervis	Ricinus communis	Jatropha curcas	Simmondsia chinensis	Moringa oleifera
Fertilizante utilizado (N)	Kg ha <sup>-1</sup>	12,3	40	223,8	765	82,8
Factor de conversión (N)	MJ Kg <sup>-1</sup>	74	74	74	74	74
Fertilizante utilizado (P)	Kg ha <sup>-1</sup>	15,6	40	343,6	0	60
Factor de conversión (P)	MJ Kg <sup>-1</sup>	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6

Variable	Unidades	<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Fertilizante utilizado (K)	Kg ha-1	10,2	40	71,2	0	60
Factor de conversión (K)	MJ Kg-1	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
Herbicida	Kg ha-1	4,0743	1,43	4,8	48,6	4,1
Factor de conversión (herbicida)	MJ Kg-1	254,67	254,67	254,67	254,67	254,67
Insecticida	Kg ha-1	0	0,12	0,008	14,4	0
Factor de conversión (insecticida)	MJ Kg-1	184,79	184,79	184,79	184,79	184,79
Fungicida	Kg ha-1	0	0	5,6	27,36	0
Factor de conversión (fungicida)	MJ Kg-1	97,17	97,17	97,17	97,17	97,17
Cal	Kg ha-1	0	0	0	0	0
Factor de conversión (cal)	MJ Kg-1	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Maquinaria	L ha-1	158	172,1	116,1	682,5	95,6
Factor de conversión (combustible)	MJ L-1	47,8	47,8	47,8	47,8	47,8
Semillas, tubérculos o Plántulas	Unit ha-1 (peso seco)	444,4	400	333,3	125	110
Factor de conversión	MJ unit-1	16	16	15,5	16	18,97
<b>Flujo directo</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>16875,5</b>	<b>18744,7</b>	<b>33851,4</b>	<b>108930,0</b>	<b>14985,7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del flujo directo, la variable que presentó un mayor aporte energético promedio, al total generado, correspondió a la energía derivada de la quema de diesel en la utilización de maquinaria de campo, con un 38,4% del total de energía directa (Tabla N°15). La variable que presentó el menor aporte energético promedio al total generado correspondió a la energía derivada de la aplicación de insecticidas, con un 0,4% del total generado (Tabla N°15).

#### 4.3.1.2. Flujo indirecto

Las variables utilizadas para calcular el flujo indirecto (Ecuación N°7) del flujo de entrada para la energía neta de cada uno de los cultivos, fueron la capacidad operacional de campo (Nunes *et al.*, 2010), la depreciación de maquinaria por unidad de superficie (Nunes *et al.*, 2010) y el trabajo humano (Nunes *et al.*, 2010). Los resultados de las variables utilizadas se detallan en la Tabla N°16. Cabe destacar que para los cálculos del flujo indirecto se tomaron algunos valores de la Tabla N°19 (Consumo generales maquinaria agrícola). Las variables con respecto a la maquinaria agrícola y labranza que se utilizaron para cada una de las especies se especifican en los apéndices N°2, N°3, N°4, N°5 y N°6.

Tabla N°14. Flujo indirecto de los cultivos

Variable	Unidades	<i>Guindilla trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
JH	8 horas/día	40	36	30	11,25	10
t (JH*8)	h ha-1	320	288	240	90	80
<b>Ofc (1/t)</b>	ha h-1	0,003	0,003	0,004	0,011	0,013
W	Kg	39020	28156	18521	27656	28156
Ofc	ha h-1	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
UI	H	110350	68350	70700	68350	68350
<b>Md (W*Fc/(Ofc*UI))</b>	MJ ha-1	113,153	118,638	83,829	129,479	131,820
man (JH)	día ha-1	40	36	40	11,25	10
Lh	horas/día	8	8	8	8	8
<b>Lb</b>	h ha-1	320	288	320	90	80
<b>Flujo indirecto</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>433,16</b>	<b>406,64</b>	<b>403,83</b>	<b>219,49</b>	<b>211,83</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2. Flujo de salida

La jojoba es la especie con mayor flujo de salida, según las variables consideradas y en comparación a los cultivos estudiados, con un valor de 489.012 MJ ha<sup>-1</sup> (Tabla N°17), debido principalmente, al rendimiento de 5.000 kg ha<sup>-1</sup> al noveno año (Botti, 2001; Jones, 2003). La guindilla mostró el menor flujo de salida, con un valor de 18.159 MJ ha<sup>-1</sup> (Tabla N°18), lo cual puede deberse a que el rendimiento de esta especie es bajo, y se calculó en base a la producción de 789 kg ha<sup>-1</sup> semillas al primer año de cultivo (Saucedo *et al.*, 2011; Uribe, 2012).



Tabla N°15. Flujo de salida de los cultivos

Variable	Unidades	<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Ricinus communis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Y	kg ha-1	789	4000	8000	18910	3000
E	MJ Kg-1	23,015	28,76	24	25,86	26,68
<b>Flujo de salida</b>	MJ ha-1	18158,835	115040	192000	489012	80040

Fuente: Elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES

Para estimar las emisiones de GEI y la energía neta de cultivos energéticos se utilizó la metodología de inventario de ciclo de vida propuesta por la norma ISO14.040, sin embargo, debido a que sus lineamientos son más bien generales y también a que dejan vacíos interpretativos a la hora de estructurar los alcances de la cadena de valor, se dificulta la validación de los resultados con respecto a trabajos similares, mostrando la necesidad de una norma específica orientada a la realización de inventarios de ciclo de vida (ICV) de manejos agrícolas y forestales.

Las emisiones de HC obtenidas de las cinco especies en estudio fluctúan entre 16,55 y 31,66 Ton CO<sub>2</sub>-e, presentado un valor mínimo y máximo para Guindilla y Jojoba, respectivamente. No obstante a lo anterior Guindilla no sería la especie más rentable, ya que el rendimiento del cultivo es muy bajo (789 kg \* ha<sup>-1</sup>), en comparación con el de jojoba (18.910 kg \* ha<sup>-1</sup>). Por lo que si comparamos los rendimientos de cada una y al mismo tiempo los relacionamos con las emisiones generadas, no sería guindilla la especie más valorable. Las fuentes de emisiones que tuvieron mayor relevancia, en el valor final de la HC de cada una de las especies, fueron las generadas a partir del cambio de uso de suelo y labranza, las cuales concentran en promedio el 72% del total de emisiones de Ton CO<sub>2</sub>-e para cada cultivo.

La energía liberada por la quema de combustible en el uso de maquinaria agrícola en el campo, fue la variable más significativa dentro de la estimación de la energía neta, representando aproximadamente un 38% del total. Los valores de energía neta obtenidos fueron muy variables, fluctuando entre un mínimo de 850 MJ ha<sup>-1</sup> en el cultivo de guindilla y un máximo de 381.156 MJ ha<sup>-1</sup> en el cultivo de jojoba.

En el flujo de entrada del balance energético de cada cultivo, específicamente en el flujo directo, la energía incorporada en el uso de combustible para la maquinaria agrícola fue de un 44,8% en guindilla, un 43,9% en higuierilla, un 16,4% en jatropha, un 29,9% en jojoba y un 30,5% en moringa, lo cual evidencia la importancia de la energía incorporada a partir del uso de maquinarias en el balance energético total.

Con respecto a los indicadores energéticos presentados en la estimación de la energía neta de cada uno de los cultivos, jatropha fue la especie que obtuvo el menor valor del indicador de EI (4,282 MJ/Kg), y esto se debe a que esta especie logró un rendimiento de 8.000 kg \* ha<sup>-1</sup>. Por otro lado higuierilla fue la especie que presentó el mayor valor del indicador de ERSI (5,006 MJ/MJ), ya que esta especie fue la que generó un mayor flujo de salida con respecto al de entrada. Es por esto que estas especies son las más rentables con respecto a los indicadores energéticos propuestos.

Los biocombustibles representan una oportunidad para generar estabilidad geopolítica y disminuir la dependencia de fuentes externas, y no se requieren cambios drásticos en la comercialización y distribución, o en la ingeniería de los vehículos de transporte.

Potenciar el desarrollo y la innovación en el aprovechamiento de los recursos naturales y la aplicación de tecnologías para elaborar biocombustibles de segunda generación contribuiría de gran manera a la mitigación y reducción de las emisiones de GEI del sector transporte y generación eléctrica.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. 1984. La Jojoba, Fisiología y Cultivo. Fundación Chile. Universidad de Chile. 28 p.
- Acevedo, E. 2006. Agroenergía un Desafío para Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 16 p.
- Achten, W. M. J., L. Verchot, Y. J. Franken, E. Mathijs, V.P. Singh, R. Aerts and B. Muys. 2008. *Jatropha* bio-diésel production and use. *Biomass and Bioenergy* 32(12): 1063-1084.
- Aguilera, J.M., Fretes, A. y San Martín, R. 1986. Characteristics of guindilla (*Valenzuela trinervis* Bert.) oil. *Journal of the American Oil Chemists Society* 63(12): 1568-1571.
- Alfaro, N. y Martínez, W. 2008. Uso Potencial de la Moringa (*Moringa oleífera Lam*) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT), Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Guatemala. 31 p.
- Alfonso, J. 2008. Manual para el Cultivo de Piñon (*Jatropha curcas*) en Honduras. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Fundación Strohalm. Proyecto Gota Verde. 34 p.
- Arancibia, D. M. Caro, F. Espinoza, B. Galaz, V. Muñoz, J. Otarola y F. Yañez. 2007. Análisis Económico del Cultivo de *Jatropha curcas* para la Producción de Biodiesel en la Localidad de Cerrillos de Tamaya, Cuarta Región. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 50 p
- Ayerza, R. 2012. Seed and oil yields of *Moringa oleifera* variety Periyakalum-1 introduced for oil production in four ecosystems of South America. *Industrial Crops and Products* 36 (12) 70 – 73.
- Azevedo, D., Lima, E., Batista, F., Beltrao, N., Soares, J., Vieira, R. y Moreira, J. 1997. Recomendações Técnicas para o Cultivo da Mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Nordeste do Brasil. Campina Grande, PB: EMBRAPA – CNPA. 52 p. (EMBRAPA – CNPA. Circular Técnica, 25).
- Botti, C. 2001. La Jojoba. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 65 p.
- Brittaine, R. and Litaladio, N. 2010. *Jatropha*: a Smallholder Bioenergy Crop. The Potential for Pro-poor Development. Integrated Crop Management. Chapter 3. *Jatropha* Cultivation. Plant Production and Protection Division. FAO, Rome, Italy. 114 p.

British Standard Institute (BSI). 2008. PAS 2050:2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. ISBN: 978-0-580-50978-0, 36 p.

Campos, A.T., Ferreira, W.A., Yamaguchi, L.C.T., Resende, H. & Almeida, F.M. 1998. Economic and energy balances of maize silage for dairy cattle. *Engenharia Rural* 9: 1-20. (in Portuguese with abstract in English).

Canadell, J., Le Quéré, C., Raupach, M., Field, C., Buitenhuis, E., Ciais, P., Conway, T., Gillet, N., Houghton, R. and Marland, G. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proc. Natl Acad Sci. USA* 104, 18866–18870.

Carvalho, B. 2005. *Manual do Cultivo da Mamona*. Salvador: EBDA. 65 p.

Carrizo, A. 2011. Experiencias con el gen. *Jatropha* en el noroeste de Argentina. In: Seminario “Evaluación agronómica de *Jatropha curcas* L. como materia prima para producir biodiesel bajo condiciones edafoclimáticas de Chile semiárido”. La Serena, Chile.

Chavanne, X. and Frangi, J.P. 2008. Energy Yield for the Production of Ethanol from Corn. *Comptes Rendus Geoscience* 340: 263-287.

Comisión Nacional de Energía (CNE), 2012. Estrategía Nacional de Energía 2012-2030. 38 p. Disponible en el sitio: <[Http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/2012/national-energy-strategy-2012-2030.html](http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/2012/national-energy-strategy-2012-2030.html)>

Comisión Económica para Latino América y el Caribe (CEPAL). 2007. Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina, Unidad de Desarrollo Agrícola, División de Desarrollo Productivo y Empresarial.

Dantas, R., Carvalho, H., Cavalcante, L., Garofalo, H., Barros, G. e Franklin, E. 2010. Teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio na Folha da Mamoneira BRS 188 Submetida a Diferentes Níveis de Água Disponível e Matéria Orgânica no Solo. Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – CCAA. Campus II da Universidade Estadual de Paraíba. Brasil. 6 p.

Da Silva, A. y R. Pérez. 2010. Desenvolvimento da Cadeia de Insumos do APL Biodiesel e Óleos Vegetais no Norte de Minas. Projeto Biodiesel-UFV / SECTES. Viosa, Brasil. 320p.

Dermibas, A. 2008. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management* 49, 2106–2116. Turquía. 11 p.

Durán, J., Retamal, N., Moratíel, R. y De Paula, V. 2009. El Cultivo de Ricino (*Ricinus communis* L.) en Andalucía: Una Alternativa para Producción de Biodiésel. España. 58 p.

- Falasca, S. y Bernabé, M.A. 2008. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de *Moringa oleífera* en Argentina. 16 p.
- Farrel, A., Plevin, R., Turner, b., Jones, A., O'Hare, M and Kammen, D. 2006. Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. 54 p.
- Ferrucci MS. 1998. Sapindaceae. In Hunziker AT ed. Flora Fanerogámica Argentina 52: 1-44. Córdoba, Argentina.
- Filho, A. S. MAMONA Tecnología Agrícola. Campinas: EMOPI, 2005. 105 p.
- Fink, A. 1985. Fertilizantes y Fertilización. Editorial Reverte. Barcelona. 439 p.
- Fluck, R. 1981. Net energy sequestered in agricultural labor. T. of the ASAE 24(6): 1449-1455. USA.
- Fluck, R. (Ed). 1992. Energy for farm production. Vol. 6 of Energy for World Agriculture. Elsevier, Amsterdam. 287 p.
- Foild, N., Mayorga, L. y Vásquez, W. 2003. Utilización del Marango (*Moringa oleífera*) como Forraje Fresco para Ganado. Proyecto Biomasa. Conferencia Electrónica de la FAO Sobre "Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica" Managua, Nicaragua. 5 p.
- Folkard, G. y Sutherland, J. 1996. *Moringa oleifera* un Árbol con Enormes Potencialidades. Agroforestry Today. Vol. 8 No 3. 5 p.
- Fore, S. R., Porter, P. and Lazarus, W. 2011. Net Energy Balance of Small-Scale On-Farm Biodiesel Production From Canola and Soybean. Biomass and Bioenergy 35(11): 2234-2244. United States.
- Francis, J.K. and Liogier, H.A. 1991. Naturalized exotic tree species in Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. SO-82. New Orleans, La: U.S Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 12 p.
- Gómez, J., Samaniego, J. y Antonissen, M. 2008. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Serie Medio Ambiente y Desarrollo 137: 52 p.
- Glauber, R., Siqueira, R. y Gamero, C.A. 2010. Balanço Energético para a Produção de Biodiesel pela Cultura da Mamona (*Ricinus communis L.*). Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Revista Ciência Agronômica, 41(4): 546-553, Brasil. 8 p.

Hetz, E. 1992. Energy utilization in Chilean agriculture. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 23: 52-56.

Hetz, E. 1994. Utilización de energía en la producción de raps, bajo cuatro sistemas de labranza en la provincia de Ñuble. *Agro Sur (Chile)* 22(1): 1-6.

Hetz, E. y Barrios, A. 1996. Energy cost of the most common mechanized agricultural operations in Chile. Facultad de ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. 21 p.

Hetz, E. y Villalobos. 1985. Consumo Específico y Ahorro de Combustible en la Operación de Tractores Agrícolas. *Ciencia e Investigación Agraria* 12(2): 129-136. Santiago.

Hoffmann, A. 1998. Flora silvestre de Chile, Zona Central. Edición 4. Santiago, Chile. Fundación Claudio Gay. 254 p.

Holzappel, E. 2013. Riego por Goteo y Microjet. Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad de Concepción, 22 p.

Houghton, J., Gylvan, L., Griggs, D. y Maskell, K. (Eds.) 1997. Estabilización de los Gases Atmosféricos de Efecto Invernadero: Implicaciones Físicas, Biológicas y Socioeconómicas. Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 55 p.

Iglesias, R. y Taha, E. 2010. Monografías de Especies Anuales, Arbustivas y Acuícolas con Potencial Energético en Chile. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura. 42 p.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) 2010. *Jatropha curcas L.* Materia Prima para Producir Biodiesel Bajo Condiciones Edafoclimáticas de Chile Semiárido. Proyecto INIA/INNOCA CORFO. Centro Regional de Investigación. La Serena, Chile. 13 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra. Vol. 4. 678 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Fourth Assessment Report: Climate Change, Working Group I: The Physical Science Basis. Disponible en: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14)> .

International Organization of Standardization (ISO). 2007. ISO 14.040 Análisis de ciclo de vida, principios y marco de referencia. Gestión ambiental. Geneva, Suiza.

Iriarte, A., Rieradevall, J. and Gabarrell, X. 2009. Life Cycle Assessment of Sunflower and Rapessed as Energy Crops Under Chilean Conditions. *Journal of Cleaner Production*. (2009): 1-10.

Jones, k. 2003. Evaluación de Proyecto de Inversión para la Provincia del Huasco. Estudio Exclusivo Realizado por DECOFRUT para pti-huasco III región. 41p. disponible en: <[www.ptihuasco.cl/indicador/documento/biblioteca\\_1012.pdf](http://www.ptihuasco.cl/indicador/documento/biblioteca_1012.pdf)> visto el 18 de julio de 2012.

Jordan, M., Prehn, D., Gebauer, M., Neumann, J., Parada, G., Velozo, J. y San Martín, R. 2010. Adventitious root initiation in adult and juvenile cuttings of *Guindilia trinervis*, an endemic plant of Chile suitable for biodiesel production. BOSQUE 31(3): 195-201, 7 p.

Kingswood, A. 2010. Estudio Exploratorio de la Producción de Biodiesel a partir de Aceite de *Jatropha curcas* en Chile. Memoria de Título de Ingeniero Civil Industrial. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Lazarus, W. F. 2009. Machinery cost estimates. University of Minnesota. Minnesota, United States. 9 p.

López, L. J., J. L. Solís, B. Martínez, V. H. Díaz y A. Zamarripa. 2011. Balance energético del cultivo de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de biodiesel. Folleto Técnico Num. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxla Chico, Chiapas. Mexico. 53 p.

Machado, C. 2010. Situación de los Biocombustibles de 2da y 3ra Generación en América Latina y el Caribe. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). 99 p.

Martínez, J, y Fernández, A. 2004. Cambio Climático: Una Visión Desde México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. 525 p.

Mikkola, H. y J. Ahokas. 2010. Indirect energy input of agricultural machinery in bioenergy production. Renewable Energy 35(1): 23-38.

Mikkola, H., K. Pahkala y J. Ahokas. 2011. Energy consumption in barley and turnip rape cultivation for bioethanol and biodiesel (RME) production. Biomass and bioenergy (35): 505-515.

Molinos, E. 1994. Estimación de la Rentabilidad de una plantación mejorada de jojoba en Chile. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 82p

Muñoz, M., Moreira-Muñoz, A., Villagrán, C., Luebert, F. 2000. Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile Central. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile 49: 9-50.

Naciones Unidas. 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>> Visto el 10 de Abril del 2014.



Nunes, A., Romanelli, T.L. and Reichardt, K. 2010. Energy Flow in Castor Bean (*Ricinus communis* L.) Production Systems. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Depto. de Engenharia de Biosistemas. Lab. de Física do Solo.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2010. Mapas de Zonificación de Aptitud Productiva del Territorio Nacional de Especies Vegetales con Potencial de Producción de Biocombustibles. 237 p.

Ormeño, J. 2005. Malezas en Huertos Frutales y vides: Biología y Control. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Colección libros INIA N°17. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 112p.

Ortiz-Cañavate, J. 2003. Las máquinas agrícolas y su aplicación. 6ª Edición, Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 526 p.

Pandey, D., Agrawal, M. and Pandey, J. 2010. Environmental Monitoring and Assessment .Carbon Footprint: Current Methods of Estimation. Laboratory of Air Pollution and Global Climate Change. Department of Botany. Banaras Hindu University. India. Accepted for Publication 23 August 2010. 26 p.

Paneque, M. (Ed), C. Román, R. Vázquez, J. M. Arriaza, D. Morales y M. Zulantay. 2011. Bioenergía en Chile. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Laboratorio de bioenergía y biotecnología ambiental. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 124 p.

Papendieck, S. 2010. La Huella de Carbono como Nuevo Estándar Ambiental en el Comercio Internacional de Agroalimentos. Argentina. 82 p.

PAS 2050:2008. Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services. British Standards Institution. England. 37 p.

Pellizzi, G. 1992. Use of energy and labour in Italian agriculture. Journal of Agricultural Engineering Research 52: 111-119.

Pimentel, D. 1980. Handbook of Energy Utilization in Agriculture. CRC Press, Boca Ratón, FL, USA.

Pimentel, D., Berardi, G. & Fast, S. 1983. Energy Efficiency of Farming Systems: Organic and Conventional Cgriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 9: 359-372.

Pimentel, D. and Patzek, T.W., 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood: Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. Natural Resources Research 14: 65-76. 12 p.

- Ramírez, A., 2008. Cultivos para la Producción Sostenible de Biocombustibles: Una Alternativa para la Generación de Empleos e Ingresos. Módulo II Higuierillo .Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV. Honduras. 23 p.
- Ranganathan, J., Moorcroft, D., Koch, J. y Bhatia, P. (Eds.). 2006. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. World Business Council for Sustainable Development. World Resources Institute (WRI). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Rashid, U., Anwar, F., Moser, B. & Knothe, G. 2008. Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel. *Bioresource Technology* 99 (2008) 8175–8179.
- Recalde, E. y Durán, J. 2009. Cultivos Energéticos Alternativos. Centro Iberoamericano de Investigación y Transferencia de Tecnología en Oleaginosas. 178 p.
- Rendón, N. y Triviño, J. 2009. ‘Producción y Exportación de la Higuierilla (*Ricinus communis* L.) a Colombia como Materia Prima para la Elaboración de biocombustibles’. Tesis de Grado, Facultad de Economía y Negocios, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. 199 p.
- Renewable Fuels Association (RFA). 2011. World fuel ethanol production. Industry statistics. Disponible en <[www.ethanolrfa.org](http://www.ethanolrfa.org)> Leído el 20 de Mayo de 2014.
- Reyes, N. 2006. Moringa oleifera and *Cratylia argentea*. Potential Fodder Species for Ruminants in Nicaragua. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Suecia.
- Rico, H., Tapia, L., Teniente, R., González, A., Hernández, M., Solís, J. y Zamarripa, A. 2011. Guía para Cultivar Higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Valle de Apatzingán. Folleto Técnico N°1. Apatzingán, México. 43p.
- Riedemann P, G Aldunate. 2004. Flora nativa de valor ornamental; Identificación y propagación. Chile, Zona Centro. Edición 2. Santiago, Chile. Andrés Bello. 566 p.
- Román, C., Vásquez, K., Valenzuela, Raúl., Martínez, G., Lillo, G., Morales, L., Fuster, R., De la Fuente, A., Uribe, J.M., Faúndez, L. y Paneque, M. 2012. Cultivos Energéticos una Apuesta de Futuro. Paneque, M. (ED.). Santiago, Chile. 224 p.
- Romanelli, T. 2002. Modelagem do Balanco Energético na Alimentacao Suplementar para Bovinos. *Brasil* 129 p.
- Romanelli, T., Cohen, M., Milan, M. and Brown, M. 2008. Energy Synthesis of Intensive Eucalyptus Cultivation in São Paulo, Brazil. *Forage Science*, v.54, p.228-241. 13 p.

- Samayoa, M. 2007. Manual Técnico del Higüerillo. Programa Agroindustria. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador. 17 p.
- Sánchez, M. I. 2001. Métodos de Estimación de Evapotranspiración Utilizados en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* (28): 3-10.
- San Martín, R., De la Cerda, T., Uribe, A., Basilio, P., Jordán, M., Prehn, D. y Gebauer, M. 2010. Evaluation of guindilla oil (*Guindilia trinervis* Gillies ex Hook. et Arn.) for biodiesel production. 6 p.
- Santa Cruz, R. 1997. *Atriplex nummularia* Lindl. Su Implantación y Manejo en Catamarca. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Catamarca. Argentina. 11 p.
- Saucedo, R., Gutierrez, E., Rubio, H., Quintana, R. y Jurado, P. 2011. Uso de plantaciones de Numularia (*Atriplex nummularia*) bajo riego y fertilización como banco de proteína para el sistema vaca cría. *Tecnociencia Vol (5). Numero 1: 9 – 18 p.*
- Schneider, H. y Samaniego, J. 2009. La Huella del Carbono en la Producción, Distribución y Consumo de Bienes y Servicios, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2005. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. World Business Council For Sustainable Development. World Resources institute. México. 138 p.
- Seigler DS, M Cortés, JM Aguilera. 1987. Chemical components of guindilla seeds (*Valenzuelia trinervis*). *Biochemical Systematics and Ecology* 15: 71-73.
- Siqueira, R., Gamero, C.A. and Boller, W. 1999. Energy Balance in Planting and Managing Crops for Soil Coverage. *Engenharia Agrícola* 19:80-89.
- Teillier S, G Aldunate, P Riedemann, H Niemeyer. 2005. Flora de la Reserva Nacional Río Clarillo. Santiago, Chile. Impresos Socías Ltda. 367 p.
- Tobares, L., Frati, M., Guzmán, C. y Maestri, D. 2003. Agronomical and chemical traits as descriptors for discrimination and selection of jojoba (*Simmondsia chinensis*) clones. *Industrial Crops and Products* 19 (2004) 107–111.
- Villa, R. 2003. Tractores agrícolas, Publicación docente N° 1. Cuarta edición. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 156 p.
- Wiedmann, T. 2009. A First Empirical Comparison of Energy Footprints Embodied in Trade: MRIO versus PLUM. *Ecological Economics* 68: 1975-1990.

Wiedmann, T. y Jan Minx. 2007. A Definition of 'Carbon Footprint'. ISA Reino Unido Research Report. 07-01. ISA Reino Unido Research & Consulting.

World Resources Institute (WRI). 2004. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de Gases Efecto Invernadero. Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible.

## 7. ANEXOS

### 7.1. Maquinaria agrícola

Según Hetz y Barrios (1996) las condiciones típicas de trabajo en las operaciones agrícolas en Chile son las que se resumen en la Tabla N°18.

Tabla N°16. Condiciones de trabajo típicas en las operaciones agrícolas en Chile

Equipo/Operación	Condiciones de trabajo
<b>Arados de vertedera</b>	Suelo liviano, mediano y pesado; 20-25-30 cm de profundidad; 0,71 a 1,78 m ancho de trabajo.
<b>Arados de discos</b>	Suelo mediano y pesado; 20-25-30 cm de profundidad; 0,50 a 1,25 m ancho de trabajo.
<b>Arado cincel</b>	Suelo mediano y pesado; 14 y 28 cm de profundidad; 1,50 a 3,30 m ancho de trabajo.
<b>Arado rotativo</b>	0,90 a 1,90 m ancho de trabajo
<b>Subsolador</b>	Huertos frutales 40,50 y 70 cm de profundidad; 2, 3,5 y 5 m entre pasadas. Plantaciones forestales 50,70 y 90 cm de profundidad y 3,5 m entre pasadas
<b>Rastra discos tandem</b>	1,40 a 3,20 m ancho de trabajo
<b>Rastra discos offset</b>	1,40 a 2,64 m ancho de trabajo
<b>Rastra combinada</b>	2,60 a 3,30 m ancho de trabajo

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de Hetz y Barrios, 1996.

A partir de los datos de los consumos específicos y ahorro de combustible en la operación de tractores agrícolas de Hetz y Villalobos (1985) se elaboró una Tabla con las operaciones agrícolas requeridas por los cultivos en estudio (Tabla N°19), y de estas operaciones se utilizarán finalmente las que comúnmente se desarrollen en Chile.

Tabla N°17. Consumo generales maquinaria agrícola.

Maquinaria	Consumo (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidad de trabajo (km h <sup>-1</sup> )	Eficiencia de campo (%)	Ancho trabajo (m)	Peso (kg)	Vida útil (h)	Factor de conversión (MJ unid <sup>-1</sup> )
<b>Tractor</b>	-	-	-	-	2.500	12.000	93,5
<b>Arado de cincel</b>	14,9	7,3	85	4,6	520	2.000	66,8
<b>Arado de vertedera</b>	23	7,2	85	2,7	1.205*	2.000	66,8
<b>Arado de disco</b>	20,5	7,3	85	1,4*	1.020*	2.000	66,8
<b>Rastra de disco</b>	14,3	9	80	3,7	1.600	2.000	64

Maquinaria	Consumo (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidad de trabajo (km h <sup>-1</sup> )	Eficiencia de campo (%)	Ancho trabajo (m)	Peso (kg)	Vida útil (h)	Factor de conversión (MJ unid <sup>-1</sup> )
Rastra de puas (dientes)	4,8	8	85	3,8	1.353	2.000	64
Vibrocultivador (Cultivador de campo)	7,1	11	85	5,5	419	2.000	64,9
Sembradora combinada	3,7	8	55	2,5	1.375	1.500	70,9
Sembradora de grano	8,5	8	70	4,6	4.400*	1.500	70,9
Sembradora	12	6	70	3,1	1.015	1.500	70,9
Pulverizador	6,5	9	65	15,2	186	1.500	62,3
Cosechadora para grano	17,5	5	70	6,1	1.680*	4.000	87,6
Segadora	8,5	8	80	2,7	2.280*	2.000	66
Cosechadora de forraje	20,5	5,5	70	7,3	7.670	4.000	87,6
Fertilizador	8	11	70	4,6	140	1.200	64,2
Rodillo	19	10	85	4	1.824	2.000	66
Cosechadora de grano (autopropulsada)	18,9	5	70	3,96	14.000	1.650	87,6

Fuente: Hetz et al., 1992; Hetz, 1994; Hetz y Barrios, 1997; Hetz y Villalobos, 1985; ASAE, 2000, Ortiz y Cañavate, 2003; Villa, 2003; Lazarus, 2009.

## 7.2. Datos meteorológicos

Datos meteorológicos utilizados para estimar la evapotranspiración de cada uno de los cultivos en estudio.

### 7.2.1 *Guindilia trinervis*

Tabla N°18. Ubicación estaciones meteorológicas.

Santiago, Chile.					
Altitud (m)	Lat	Long	Altitud (m)	Lat	Long
473	33° 23' S	070° 47' O	1247	33° 37' S	070° 18' O

Tabla N°19. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración.

Meses	Tprom (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	Humedad relativa mañana (%)	Humedad relativa Tarde (%)
Enero	21	12	29	0	84	37
Febrero	20	11	28	0	86	38
Marzo	18	9	26	0	89	40
Abril	15	7	22	10	91	48
Mayo	11	5	17	50	94	62
Junio	8	3	14	70	94	68
Julio	8	2	13	70	95	68
Agosto	10	3	16	50	95	64
Septiembre	11	5	18	20	93	59
Octubre	14	7	21	10	92	50
Noviembre	17	8	25	0	89	44
Diciembre	19	10	27	0	86	39

### 7.2.2. *Ricinus communis*

Tabla N°20. Ubicación estaciones meteorológicas.

Buenos Aires, Argentina					
Altitud (m)	Lat	Long	Altitud (m)	Lat	Long
21	34° 35' S	058° 29' O	6	34° 34' S	058° 25' O

Tabla N°21. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración.

Meses	Tprom (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	Humedad relativa mañana (%)	Humedad relativa Tarde (%)
Enero	24	21	27	97	77	60
Febrero	23	20	26	84	80	63
Marzo	22	18	25	117	80	63
Abril	18	15	21	94	82	66
Mayo	15	12	17	76	82	67
Junio	11	8	14	64	83	68
Julio	11	8	13	58	84	70
Agosto	12	10	15	64	82	66
Septiembre	14	11	17	76	80	63

Meses	Tprom (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	Humedad relativa mañana (%)	Humedad relativa Tarde (%)
Octubre	17	14	20	99	79	63
Noviembre	20	16	23	89	77	60
Diciembre	23	20	26	97	76	69

### 7.2.3. *Jatropha curcas*

Tabla N°22. Ubicación estaciones meteorológicas.

Zanzibar, Tanzania					
Altitud (m)	Lat	Long	Altitud (m)	Lat	Long
16	06° 12' S	039° 13' E	15	06° 13' S	039° 13' E

Tabla N°23. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración.

Meses	Tprom (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Pp (mm)	Humedad relativa mañana (%)
Enero	28	24	32	58	74
Febrero	28	24	32	66	74
Marzo	28	25	32	147	79
Abril	27	25	30	320	84
Mayo	25	23	28	290	84
Junio	25	23	28	53	79
Julio	24	22	27	28	78
Agosto	25	22	28	30	77
Septiembre	25	22	28	41	76
Octubre	26	22	30	66	76
Noviembre	27	23	31	170	78
Diciembre	27	24	31	140	78



#### 7.2.4. *Simmondsia chinensis*

Tabla N°24. Ubicación estaciones meteorológicas.

La Rioja, Argentina					
Altitud (m)	Lat	Long	Altitud (m)	Lat	Long
844	28° 33' S	066° 49' O	428	29° 23' S	066° 49' O

Tabla N°25. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración.

Meses	Tprom (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	Humedad relativa mañana (%)	Humedad relativa Tarde (%)
Enero	27	21	33	69	77	49
Febrero	26	20	31	61	81	54
Marzo	24	18	28	58	83	57
Abril	20	15	25	18	82	54
Mayo	16	10	22	5	81	52
Junio	12	6	18	3	79	50
Julio	12	5	18	3	75	46
Agosto	15	8	21	5	65	40
Septiembre	18	11	24	5	63	38
Octubre	23	16	29	18	63	37
Noviembre	25	18	31	36	66	39
Diciembre	27	21	32	53	72	46

#### 7.2.5. *Moringa oleífera*

Tabla N°26. Ubicación estaciones meteorológicas.

wailua, Hawaii, Estados Unidos					
Altitud (m)	Lat	Long	Altitud (m)	Lat	Long
3	21° 34' N	158° 07' O	256	21° 29' N	158° 02' O

Tabla N°27. Datos meteorológicos utilizados para calcular evapotranspiración.

Meses	Tprom (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Pp (mm)	Humedad relativa mañana (%)	Humedad relativa Tarde (%)
Enero	20	16	24	155	87	65
Febrero	20	16	25	112	88	64
Marzo	21	17	25	112	83	61
Abril	21	17	25	91	83	62
Mayo	22	18	27	58	81	60
Junio	23	20	27	41	80	58
Julio	24	20	28	51	82	59
Agosto	25	20	28	41	81	58
Septiembre	25	20	28	56	83	60
Octubre	23	20	28	104	85	61
Noviembre	22	18	26	132	86	65
Diciembre	21	17	25	155	86	65

## 8. APÉNDICES

### 8.1. Apéndice N°1, descripción y ecología de las especies en estudio

En este estudio se trabajó con las especies guindilla, higuera, jatropha, jojoba y moringa. Las especies seleccionadas producen semillas con capacidad de contener altos niveles de aceites con potencial energético o como materia prima para la obtención biodiesel (Román *et al.*, 2012).

#### 8.1.1. Guindilla (*Guindilia trinervis*)

##### Descripción

Esta especie pertenece a la familia *Sapindaceae*, es un arbusto silvestre leñoso de hoja perenne, el cual alcanza alturas de hasta 1,5 m (Román *et al.*, 2012). Esta especie posee hojas con peciolo muy cortos o definitivamente sésiles, opuestas y coriáceas, de color verde claro presentando tres nervios paralelos (Figura N°8), el fruto con forma de cápsula contiene en su interior 1 a 2 semillas (Román *et al.*, 2012). Este arbusto se ha descrito como una especie adecuada para la producción de biodiesel ya que aproximadamente el 64% del peso de sus semillas corresponde a aceites (San Martín, 2010). Se ha estimado que la producción de aceite de esta especie oscila entre 500 y 600 L ha<sup>-1</sup> aproximadamente (Seigler *et al.*, 1987).

##### Ecología

Es nativa de Chile y Argentina (Jordan *et al.*, 2010; San Martín *et al.*, 2010) y prospera en lugares soleados y montañosos de la zona central de Chile, en pendientes orientadas al norte con suelos delgados y rocosos, en la Cordillera de Los Andes y de La Costa, entre las regiones del Maule y de Valparaíso (Iglesias y Taha, 2010). Se distribuye entre los 1.400 y 2.200 msnm, en el piso vegetacional denominado como matorral subandino (Muñoz *et al.*, 2000). Naturalmente se encuentra en zonas donde las temperaturas oscilan entre los 1,2 y los 22,9 °C (Iglesias y Taha, 2010) y las precipitaciones entre 300 – 800 mm año<sup>-1</sup> (Román *et al.*, 2012). La guindilla crece de manera adecuada en suelos con un pH básico, aunque también se ha encontrado en suelos con un pH de entre 5,2 y 5,8 (Iglesias y Taha, 2010).

##### Producción y usos

La Guindilla es muy poco conocida botánicamente hablando, por lo cual existe muy poca información acerca de la especie (Ferrucci 1998, Hoffmann 1998, Riedmann y Aldunate 2004, Teillier *et al.* 2005). No existe información acerca de plantaciones comerciales de esta especie y sólo se puede encontrar en su distribución natural, y tampoco existe información acerca de sus usos. Con respecto a productividad de semillas, cabe mencionar que esta especie produce aproximadamente 789 kg ha<sup>-1</sup> (Uribe, 2012).

### Potencial energético

Esta especie ha sido estudiada debido a que posee un 64% de aceites en los cotiledones de sus semillas, el cual está constituido principalmente por los ácidos grasos: Oleico (62,3 - 63%), Linoleico (8 - 10,1%), Gadoleico (9,5 - 12,9%), Palmítico (9,1 - 9,6%) y Esteárico (0 - 3,1%) (Aguilera *et al.*, 1986; San Martín *et al.*, 2010).

### Plagas y enfermedades

De acuerdo a lo señalado por ODEPA (2010), actualmente no existe información con respecto a las plagas y enfermedades que mermen el crecimiento de esta especie.



Figura N°8. Guindilla (A: Planta con flores y B: hojas opuestas y coriáceas).

### **8.1.2. Higuera (*Ricinus communis*)**

#### Descripción

Esta especie pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, es una planta xerófila y heliófila, por lo que se adapta a ambientes áridos, es tolerante a la sequía, y exigente en calor y luminosidad (Duran *et al.*, 2009). La higuera es una planta monoica, con inflorescencia panicular (Figura N°9), tipo racimo; las flores femeninas se disponen en la parte superior y las masculinas en la parte inferior (Dantas *et al.*, 2010). Las hojas, son palmeadas, dentadas y van de pequeñas a grandes, también pueden ser de color verde, verde cobrizo, rojas y verdes rojizas (Samayoa, 2007). Posee un sistema radical pivotante, con una raíz principal y varias

raíces laterales (Rendón y Triviño, 2009). El fruto es una cápsula que en su interior contiene 3 semillas de entre 1,5 y 2,5 cm de largo, y que en su exterior posee unas pequeñas espinas gruesas (Recalde y Durán, 2009).

### Ecología

Para esta especie, originaria del oeste de África (Azevedo *et al.*, 1997; Duran *et al.*, 2010), según Carvalho (2005) la altitud es un factor importante para su crecimiento como cultivo, ya que si las plantas se establecen por debajo de los 300 msnm se podría inducir a la planta a prolongar su estado vegetativo, generando un exceso de hojas e incentivando el aborto de las flores, por otro lado, los cultivos que se establezcan por encima de los 1500 msnm un predominio de temperaturas inferiores a 10°C podrían disminuir producción de polen, disminuyendo consigo la producción de frutos y semillas.

Según lo señalado por Rendón y Triviño (2009), la higuerilla es una especie de climas tropicales y subtropicales, capaz de prosperar en ambientes templados y cálidos, necesitando lluvias regulares en el comienzo de la estación seca y en el período de maduración de los frutos, también es vulnerable a las heladas, fuertes vientos y nubosidad frecuente (Rendón y Triviño, 2009).

Los requerimientos hídricos promedio de la especie son aproximadamente 500 mm al año (Samayoa, 2007), aunque puede adaptarse a zonas con menores precipitaciones (Carvalho, 2005). Crece en suelos profundos, con buen drenaje y una textura franca o franca arenosa; requiriendo un pH óptimo entre 6,5 y 7,0, aunque puede desarrollarse en suelos con un pH entre 4,3 y 8,2 (Samayoa, 2007). En las áreas de distribución natural de la especie la temperatura fluctúa entre 7 y 30°C, sin embargo la temperatura óptima para su desarrollo fluctúa entre los 10 y 23°C (Fink, 1985).

### Producción y usos

Se encuentra actualmente distribuida en todo el mundo, principalmente en las zonas tropicales y subtropicales (Filho, 2005; Rendón y Triviño, 2009). Las densidades de siembra oscilan entre 2.000 - 5.000 plantas ha<sup>-1</sup>, aunque al parecer podrían emplearse densidades mayores (10.000 plantas ha<sup>-1</sup>). Los distanciamientos varían entre 1,5 - 4 m entre hileras y 1 - 2 m entre plantas (Rico *et al.*, 2011). Las productividades que se obtienen son muy variables, dependiendo principalmente de la variedad empleada y el lugar geográfico (los cultivos tropicales obtienen mayores productividades), alcanzando hasta 4.000 kg semillas ha<sup>-1</sup> (Da Silva y Pérez, 2010).

Se emplea principalmente para la producción de aceite, el cual es empleado de forma industrial o medicinal. La torta de molienda puede ser empleada como fertilizante por su alto contenido de nitrógeno, o bien como alimento animal, pero para esto es necesario tratarlo ya que contiene una proteína tóxica denominada como Ricina, las hojas también poseen esta

proteína. También se emplea como barrera natural, ya que los animales no lo utilizan como alimento, debido a su toxicidad (Rendón y Triviño, 2009).



Figura N°9. Higuierilla (A: planta con frutos y B: hojas palmeadas).

#### Potencial energético

El potencial energético de la higuierilla está dado principalmente por el contenido de aceite que poseen sus semillas, el cual fluctúa entre el 35 - 55% (Recalde y Durán, 2009 y Rendón y Triviño, 2009). Este se compone de los siguientes ácidos grasos: 0,98 - 1,04% Palmítico, 1,03 - 1,17% Esteárico, 3,26 - 3,34% Oleico, 88,73 - 89,57% Ricinoleico, 4,33 - 4,89 % Linoleico y 0,46 - 0,50% Linolénico (Berman *et al.*, 2011).

#### Plagas y enfermedades

Algunas de las plagas que pueden atacar a este cultivo son: Chinche verde (*Nezara viridula*), succionan savia de las hojas y frutos, a la vez inyectan saliva dañando los tejidos; Barrenador de la cápsula de ricino (*Dichocrocis punctiferalis*), se alimenta principalmente de los frutos, agujereándolos; Palomilla o polilla falsa (*Cryptophlebia leucotreta*), las larvas se alimentan de los frutos ocasionando graves daños. También se registran Gallina ciega (*Phyllophaga sp.*) y Gusano gris del tabaco (*Spodoptera litura*) (Durán *et al.*, 2009 y Rendón y Triviño, 2009).

Entre las enfermedades que puede contraer están: Mancha foliar (*Alternaria ricini*), ataca toda la parte aérea del arbusto, en las hojas se manifiesta con manchas café provocando defoliación o la muerte de la planta cuando ésta en estado de plántula; Podredumbre negra (*Xanthomonas campestris*), se manifiesta con lesiones en el tallo, con el marchitamiento de la inflorescencia o con la podredumbre del fruto; Podredumbre gris (*Botrytis ricini*), afecta

la inflorescencia y la cápsula, provocando una disminución en la productividad de semillas. Otras enfermedades que puede contraer son Podredumbre de la raíz (*Macrophomia phaseolina* y *Rhizoctonia bataticola*) y Marchitamiento o “Wilt” (*Fusarium oxysporum*) (Samayoa, 2007 y Rendón y Triviño, 2009).

### **8.1.3. Jatropha (*Jatropha curcas*)**

#### Descripción

Esta especie perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*, es un arbusto perenne de crecimiento rápido que comienza a producir, dependiendo de las condiciones de suelo, entre los 6 meses y el año de la siembra, su ciclo productivo se extiende hasta 45 ó 50 años, alcanzando su un óptimo rendimiento a los 5 años (Alfonso, 2008).

La jatropha es un arbusto grande, cuya altura normal es de dos a tres metros, alcanzando incluso hasta los ocho metros de altura en su hábitat natural (Divaraka *et al.*, 2010), presenta un fuste ramificado a poca altura y una corteza lisa de madera suave, médula desarrollada poco resistente, de aproximadamente 20 cm de diámetro, de color blanco grisáceo (Figura N°10); floema con largos canales que se extienden hasta las raíces, por los cuales circula el látex; el cual brota con abundancia ante cualquier herida. Las hojas son verdes, amplias y brillantes, largas y alternas, en forma de palmas pecioladas, la mayoría de 7–16 cm de largo y el mismo ancho aproximadamente, posee nervaduras blanquecinas y salientes en el envés, casi glabras pero más o menos pilosas debajo en las nervaduras (Alfonso, 2008).

Esta especie posee flores unisexuales se agrupan en inflorescencias del tipo racimo, donde las flores femeninas y masculinas son producidas en la misma inflorescencia. Comúnmente las inflorescencias producen una flor femenina central rodeada por un grupo de flores masculinas (INIA, 2010). Tiene raíces largas y ramificadas con una central, dos secundarias y dos terciarias (Alfonso, 2008). En plantaciones regadas y fertilizadas, se pueden obtener rendimientos de 1000 kg/ha aprox. en plantas jóvenes y hasta 8.000 kg/ha en plantas maduras. En zonas tropicales puede producir varias cosechas al año, lo cual influye de manera positiva en su rendimiento. Las diferencias entre los ciclos de producción en las zonas sin estaciones y zonas con las estaciones marcadas contribuyen a la variedad de rendimientos observados en la literatura. Existen estimaciones extremadamente optimistas, donde se podrían alcanzar productividades de hasta 10.000 kg/ha.

#### Ecología

Es originaria de México y Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales, cultivándose en América Central, Sudamérica, Sureste asiático, India y África (Alfonso, 2008), siendo Centro América donde se encuentra mayormente distribuido (Donlaporn and Suntornsuk, 2009). Se adapta a climas tropicales y subtropicales y puede ser plantada directamente al sol, ya que es resistente al calor (35°C), por el contrario, no res resistente a las heladas, presentando daño cuando se ve expuesta a bajas temperaturas (18°C) por

periodos de tiempo prolongado o a escarchas ligeras (Alfonso, 2008). Las temperaturas óptimas para el desarrollo de esta especie oscilan entre los 20 y 28°C (Achten *et al.*, 2008).

Según Alfonso (2008) ecológicamente se adapta desde el trópico muy seco con precipitaciones de 250 mm hasta subtrópico húmedo con precipitaciones de más de 1,500 mm. Se puede encontrar hasta los 1800 msnm (Achten *et al.*, 2008), aunque los mejores resultados se han obtenido entre los 600 a 800 msnm (Alfonso, 2008). Crece adecuadamente en suelos con pH entre 5.0 y 9.0, no obstante crece de mejor manera en suelos con un pH entre 6.0 y 8.0 (Brittaine y Lutaladio, 2010).

### Producción y usos

La densidad de la plantación comercial para obtención de aceite oscila entre 1.111 - 2.500 plantas ha<sup>-1</sup>, estando distancias de 2 - 3 m entre hileras y plantas. Para una plantación con fin de conservación de suelos es de entre 4.000 - 6.700 plantas km<sup>-1</sup>. La productividad de semillas de *Jatropha* corresponde aproximadamente a 8000 kg/ha el cuarto año (Da Silva y Pérez, 2010).

Es una especie multipropósito, empleándose de diversas maneras, se utiliza como barrera natural para proteger propiedades u otros cultivos, para detener la erosión o recuperación de suelos, gracias a las características que posee la raíz y a sus mínimos requerimientos edafoclimáticos (Nokkaew, 2008).

Sus hojas pueden ser utilizadas como alimento pero deben ser cocidas o asadas, también las semillas de algunas variedades son ocupadas como alimento, pero para ello se debe tomar el resguardo de escoger variedades no tóxicas. Posee propiedades medicinales, empleándose en el tratamiento del reumatismo, como purgativo, antiséptico, entre otras (Nokkaew, 2008). Además sirve como insecticida y moluscocida (Silva *et al.*, 2011).



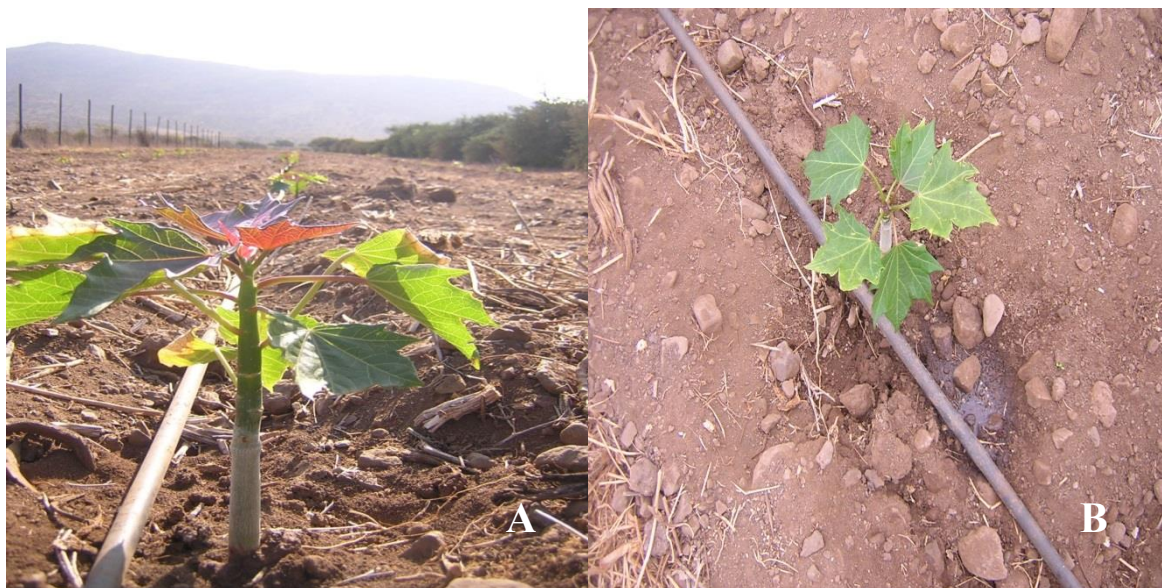


Figura N°10. Jatropha (A: plántula y B: hojas palmeadas y opuestas).

#### Potencial energético

El potencial de esta especie está dado por el aceite contenido en sus semillas, el cual fluctúa entre 28,0 - 39,1% del peso de cada semilla, y se encuentra compuesto por los ácidos grasos: 14,1 - 15,3% Palmítico, 3,7 - 9,8% Estearico, 34,3 - 45,8% Oleico, 29,0 - 44,2% Linoleico, 0,0 - 0,3% Araquídico, 0,0 - 0,2% Behénico (Gubitz *et al.*, 1999).

#### Plagas y enfermedades

Es una especie resistente a plagas, siendo tóxica para animales (Silva *et al.*, 2011). No obstante, se ve afectada por algunas plagas como: Chinche verde (*Nezara viridula*), succionan savia de las hojas y frutos, a la vez que inyectan saliva dañando los tejidos; Chinche azul (*Calidea dregei*); Otras plagas que se registran son Gusano gris del tabaco (*Spodoptera litura*) y Piojo blanco (*Pinnaspis strachani*) (De La Vega, 2007).

Entre las enfermedades que pueden atacar a esta especie están: Mancha foliar (hongos del género *Cercospora*, *Helminthosporium tetramera*, *Pestalotiopsis paraguarensis* y *Pestalotiopsis versicolor*), que se manifiesta con manchas acuosas en las hojas, pudiendo llegar a perderlas y; Pudrición de la raíz (hongos del género *Phytophthora*, *Fusarium* y *Pythium*), causa necrosis en la raíz, pudiendo llegar a matar a la planta (De La Vega, 2007).

#### **8.1.4. Jojoba (*Simmondsia chinensis*)**

##### Descripción

Esta especie perteneciente a la familia *Simmondsiaceae*, es un árbol perenne, con una gran tolerancia al déficit hídrico y a la salinidad, lo que le otorga una gran potencialidad para ser cultivada en suelos marginales del norte de Chile (Botti, 2001).

Las Hojas de la jojoba son opuestas (Figura N°11), ovales o lanceoladas, verde o verde-azulado, oblongas, de 2,5 a 3,5 cm de largo, el fruto es una cápsula verde, ovoide, generalmente dehiscente, y que posee en su interior entre 1 y 3 semillas (Schneider, 2009).

##### Ecología

La jojoba es originaria de México y Estados Unidos, específicamente del nor-oeste de México (desierto de Sonora), esta se desarrolla efectivamente en zonas con climas desérticos, desarrollándose en lugares donde la temperatura oscila entre 10 - 35 °C, y, altitudinalmente se adapta desde el nivel del mar hasta los 1.500 m de altitud (Botti, 2011).

En la zonas donde se encuentra naturalmente esta especie la precipitación fluctúa entre los 76 - 459 mm al año, adecuándose de mejor forma a aquellos lugares donde cuya precipitación fluctuó entre los 300 - 450 mm, no tolera lugares con altas precipitaciones, viéndose favorecida a ambientes de serranías y valles interiores, a zonas áridas, con veranos marcados (calurosos y secos), y con inviernos que presenten heladas más bien moderadas (Botti, 2011).

La jojoba para lograr un óptimo desarrollo requiere suelos profundos y con un adecuado drenaje, presentando texturas arenosas y franco arenosas de preferencia, sin embargo también crece de manera adecuada en suelos francos (Botti, 2011).

Esta especie presenta una alta tolerancia a la salinidad, creciendo en zonas que son bañadas o regadas con agua marina, es por esto que se desarrolla de manera adecuada en zonas desérticas. Crece en suelos de pH entre 5,0 - 8,0, sin embargo los mejores resultados se obtienen en suelos más neutros (pH entre 6,0 - 7,0) (Acevedo, 1984 y Botti, 2001).

##### Producción y usos

Se ha introducido en los 5 continentes, siendo Argentina el principal productor, seguido por Israel, Estados Unidos, México, Egipto, Australia, Chile y Perú (Botti, 2001). En plantaciones comerciales se alcanzan densidades de entre 1.000 - 2.000 plantas ha<sup>-1</sup>, posicionando 1 macho por cada 5 hembras, con producciones de alrededor de 600 kg semillas ha<sup>-1</sup> durante los 3 primeros años, posteriormente una vez que se haya estabilizado, alcanzan productividades de entre 1.000 - 4.000 kg semillas ha<sup>-1</sup> (Botti, 2001).

Los principales usos que se le da son alimento, tanto para humanos como ganado, medicinal e industrial. La semilla y el aceite pueden ser consumidos como bebidas o leche, además se

emplea en la preparación de galletas y pan. La semilla contiene *Simmondsina*, la cual inhibe el apetito, ayuda en la disminución del acné, cura heridas y es beneficiosa con respecto a los problemas estomacales. El aceite puede emplearse en la elaboración de lubricantes, barnices y plastificantes. La torta de molienda posee 30% de proteína, pero debe emplearse con cuidado ya que posee sustancias tóxicas para los animales (Botti, 2001).



Figura N°11. Jojoba (A: cultivo y B: Hojas opuestas y ovaladas).

#### Potencial energético

El potencial energético de la jojoba está en el contenido de aceite que poseen sus semillas, el que varía entre 43,8 - 60% del peso de la semilla. Este se compone de los ácidos grasos: 0,71 - 1,02% Palmítico, 0,76 - 1,09% Esteárico, 2,9 - 10,16% Oleico, 78,9 - 82,83% Eicosenoico, 8,8 - 12,84% Docosenoico y 0,28 - 0,43% Tetracosenoico (Kayan *et al.*, 1990).

#### Plagas y enfermedades

Algunas plagas que atacan a esta especie son: Falso chinche (*Nysius cymoides*), que se alimenta de las inflorescencias y del fruto, disminuyendo la producción; Gusano peludo (*Estigmene acrea*), que se alimenta de las hojas pudiendo causar defoliación en la planta; Pulgones (*Aphis* sp.), que se alimentan de los brotes tiernos; Periquito búfalo (*Cersa bubalus*), que se alimenta de la savia que circula por las ramas, provocando resquebrajaduras en la corteza. También se registran Chicharritas (*Empoasca* sp.) y Chapulín (*Melanophus* sp.) (Botti, 2011).

Entre las enfermedades que pueden estar presentes en esta especie se encuentran: Marchitamiento (*Fusarium oxysporum*), provoca una severa clorosis, desecación,

defoliación y marchitamiento de las hojas, provocando la muerte de la planta; Mancha foliar (*Burkholderia andropogonis*), causa necrosis en las hojas; Podredumbre de la raíz y del tallo (*Phytophthora nicotianae*), provoca la muerte de la planta, también provoca Mancha foliar y en los frutos. Otras enfermedades que se registran son Pudrición de las raíces (*Phytophthora parasítica*) y Rizotocniasis (*Rhizoctonia solani*) (Botti, 2001).

### **8.1.5. Marango (*Moringa oleífera*)**

#### Descripción

Marango es un árbol que alcanza entre 7 y 12 m de alto y mide entre 20 y 40 cm de diámetro, con una copa abierta, en forma de paraguas, con un fuste generalmente recto (Figura N°12; Garg, (2008); Forest & Kim, (2008)). Posee hojas compuestas, dispuestas en grupos de a 5 pares de folíolos, acomodados sobre el pecíolo principal y un folíolo en la parte terminal. En los folíolos presenta láminas foliares ovaladas de 20 cm organizadas frontalmente entre ellas en grupos de 5 a 6. Las hojas compuestas son alternas tripinadas con una longitud total de 30 a 70 cm, presenta flores bisexuales con pétalos blancos y estambres amarillos (Falasca y Bernabé, 2008). Los frutos se presentan en cápsulas trilobuladas (Figura N°12), dehiscentes de 20 a 40 cm de longitud y, contienen de 12 a 25 semillas de forma redonda y color castaño oscuro con 3 alas blanquecinas por fruto, las que contienen entre un 30 y 42% de aceite (Foidl *et al.*, 2003). El árbol de Marango posee un alto contenido de proteínas en sus hojas, ramas y tallos, lo que se condice con el contenido proteico de su torta de molienda que contiene hasta un 60% de proteína, y en sus frutos y flores poseen proteínas y vitaminas A, B y C (Foidl *et al.*, 2003). Las semillas de esta especie pueden ser de diversos tamaños y colores, pero en su mayoría son de color café, de forma globular y de un centímetro de diámetro aproximadamente (Falasca y Bernabé, 2008).

#### Ecología

Es una especie de habito arbóreo que se adapta a climas tropicales y es originaria del sur del Himalaya, Nordeste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán (Foidl *et al.*, 2003).

Palada y Chang (2003) señalan que su desarrollo óptimo se da en zonas con temperaturas entre los 25 y 35°C, aunque también se desarrolla en lugares donde la temperatura alcanza los 48°C. Crece en lugares donde las precipitaciones fluctúan entre los 1000 y 1800 mm al año, con un pH del suelo que oscila entre 5,5 y 7,5 (Francis and Liogier, 1991), y en altitudes que oscilan entre los 0 y 1800 msnm (Pandey *et al.*, 2011), adaptándose a zonas con condiciones climáticas semiáridas, creciendo de manera óptima en suelos de textura franca y franca arenosa, con un buen drenaje (Foidl *et al.*, 1998). Presenta un rápido crecimiento, es resistente a la sequía y puede tolerar la pobreza del suelo (Rashid, *et al.*, 2008).



### Producción y usos

Se distribuye en África, América y Asia, en donde ha llegado a colonizar países aledaños a la India (Ayerza, 2012). La densidad de plantación se encuentra alrededor de las 1.100 plantas ha<sup>-1</sup>, cuyo marco de plantación fluctúa entre 3 - 5 m entre hileras de plantación, dependiendo de la luminosidad del lugar de establecimiento (Ayerza, 2012).

El principal uso de esta especie es como alimento, debido a que el aceite que se extrae de sus semillas es de buena calidad (posee propiedades similares al aceite de oliva), por lo que es muy valorado en el mercado y, además, puede ser empleado en la elaboración de lubricantes para maquinarias finas y en perfumería ya que es capaz de capturar la esencia de las flores (Morton, 1991). Las hojas, las flores y los frutos son consumidos de manera directa en ensaladas o preparados para consumirlos en sopas (Folkard y Sutherland, 1996). De igual forma, las hojas tienen propiedades antioxidantes, poseen un alto contenido de vitamina C y A, por lo que pueden emplearse en forma medicinal (Foild *et al.*, 2003).

Por último, puede ser empleada como alimento para animales, en procesos de purificación de agua, como leña y para estructurar cortinas vegetales como barrera natural (Falasca y Bernabé, 2008). La productividad de su semillas puede alcanzar los 3.000 kg ha<sup>-1</sup> el tercer año aproximadamente (Falasca y Bernabé, 2008).



Figura N°12. Moringa oleifera (A: flor y B: frutos y hojas compuestas).

### Potencial energético

El potencial energético de esta especie está dado por el aceite contenido en sus semillas, cuya proporción oscila entre 35 - 45% del peso total de la semilla (Ayerza, 2012). Se

encuentra constituido principalmente por los ácidos grasos, palmítico (7%), palmitoleico (2%), esteárico (4%), de oleico (78%), linoleico (1%), araquídico (4%), y behénico (4%; Da silva *et al.*, 2010).

### Plagas y enfermedades

Esta especie no es muy propensa a la colonización de plagas, sin embargo, en algunos casos se han observado colonizaciones de: Gusano peludo (*Eupterote molifera*) que puede causar defoliación de las plantas; Gusano comedor de corteza (*Indarbella quadrinotata*) cuyas larvas se alimentan de la corteza, haciendo túneles en el tallo y en las ramas. Además de otros gusanos como *Tetragonia siva*, *Metanastia hyrtaca*, *Heliothis armígera* y *Noorda moringae* (Pandey *et al.*, 2011).

En el caso de las enfermedades solo se registra la aparición de pudrición de la raíz (hongos del género *Diplodia*) cuyo efecto causa necrosis en la raíz, pudiendo matar a la planta en el peor de los casos (Pandey *et al.*, 2011).

## **8.2. Apéndice N°2, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de *Guindilia trinervis*.**

Tabla N°28. Aplicaciones agrícolas.

Variable	Unidad	Cantidad	Equivalencia (MJ/unit)	Fuente
N	Kg ha-1	12,3	74	Uribe, 2012
P	Kg ha-1	15,6	12,6	Uribe, 2012
K	Kg ha-1	10,2	6,7	Uribe, 2012
Herbicida	Kg ha-1	4,0743	254,67	Ormeño, 2005
Insecticida	Kg ha-1	0	184,79	Ormeño, 2005
Fungicida	Kg ha-1	0	97,17	Ormeño, 2005
Maquinaria	L ha-1	158	47,8	Homer, 2012; Ormeño, 2005 y Uribe 2012
Plántulas	unit ha-1	4444	16	Uribe, 2012

Fuente: elaboración propia.

Tabla N°29. Labranza.

Variable	Pasadas/ha	L/ha	Diesel total	Fuente
Arado subsolador cada 5 años (Cinzel)	1	14,9	14,9	Homer, 2012
Arado Disco	1	20,5	20,5	Homer, 2012
Rastra de disco	2	14,3	28,6	Homer, 2012
Camellaje	1	20,5	20,5	Homer, 2012
Rodillo	1	19	19	Homer, 2012
Cosechadora de grano	1	17,5	17,5	Homer, 2012
Pulverizador	2	6,5	13	Ormeño, 2005
Fertilizador	3	8	24	Uribe, 2012

Fuente: elaboración propia.

Tabla N°30. Maquinaria agrícola utilizada.

Maquinaria	Consumo (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidad de trabajo (km h <sup>-1</sup> )	Eficiencia de campo (%)	Ancho trabajo (m)	Peso (kg)	Vida útil (h)	Factor de conversión (MJ unid <sup>-1</sup> )
Tractor	-	-	-	-	2500	12.000	93,5
Arado de cinzel	14,9	7,3	85	4,6	520	2.000	66,8
Arado de disco	20,5	7,3	85	1,4	1.020	2.000	66,8
Rastra de disco	14,3	9	80	3,7	1.600	2.000	64
Camellaje	20,5	7,3	85	1,4	1.020	2.000	66,8
Pulverizador	6,5	9	65	15,2	396	1.500	62,3
Fertilizador	8	11	70	4,6	140	1.200	64,2
Rodillo	19	10	85	4	1.824	2.000	66
Cosechadora de grano (autopropulsada)	17,5	5	70	3,96	14.000	1.650	87,6

Fuente: elaboración propia, a partir de los datos de Hetz et al., 1992; Hetz, 1994; Hetz y Barrios, 1997; Hetz y Villalobos, 1985; ASAE, 2000, Ortiz y Cañavate, 2003; Villa, 2003; Lazarus, 2009.

### 8.3. Apéndice N°3, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de *Ricinus communis*.

Tabla N°31. Aplicaciones agrícolas.

Variable	Unidad	Cantidad	Equivalencia (MJ/unit)	Fuente
N	Kg ha-1	40	74	Samayoa, 2007
P	Kg ha-1	40	12,6	Samayoa, 2007
K	Kg ha-1	40	6,7	Samayoa, 2007
Herbicida	Kg ha-1	1,43	254,67	Samayoa, 2007
Insecticida	Kg ha-1	0,12	184,79	Samayoa, 2007
Fungicida	Kg ha-1	0	97,17	Samayoa, 2007
Maquinaria	L ha-1	172,1	47,8	Durán, <i>et al.</i> , 2009; Rico, <i>et al.</i> , 2011 y Samayoa, 2007
Plántulas	unit ha-1	4000	16	Ramírez, 2008

Fuente: elaboración propia

Tabla N°32. Labranza.

Variable	Pasadas/ha	L/ha	Diesel total	Fuente
Arado Disco	1	20,5	20,5	Durán, <i>et al.</i> , 2009.
Rastra de disco	2	14,3	28,6	Durán, <i>et al.</i> 2009.
Cosechadora de grano	5	17,5	87,5	Rico, <i>et al.</i> , 2011
Pulverizador	3	6,5	19,5	Samayoa, 2007
Fertilizador	2	8	16	Samayoa, 2007

Fuente: elaboración propia

Tabla N°33. Maquinaria agrícola utilizada.

Maquinaria	Consumo (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidad de trabajo (km h <sup>-1</sup> )	Eficiencia de campo (%)	Ancho de trabajo (m)	Peso (kg)	Vida útil (h)	Factor de conversión (MJ unid <sup>-1</sup> )
Tractor	-	-	-	-	2500	12.000	93,5
Arado de disco	20,5	7,3	85	1,4	1.020	2.000	66,8
Rastra de disco	14,3	9	80	3,7	1.600	2.000	64
Pulverizador	6,5	9	65	15,2	396	1.500	62,3



Maquinaria	Consumo (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidad de trabajo (km h <sup>-1</sup> )	Eficiencia de campo (%)	Ancho de trabajo (m)	Peso (kg)	Vida útil (h)	Factor de conversión (MJ unit <sup>-1</sup> )
Fertilizador	8	11	70	4,6	140	1.200	64,2
Cosechadora de grano (autopropulsada)	17,5	5	70	3,96	14.000	1.650	87,6

Fuente: elaboración propia, a partir de los datos de Hetz et al., 1992; Hetz, 1994; Hetz y Barrios, 1997; Hetz y Villalobos, 1985; ASAE, 2000, Ortiz y Cañavate, 2003; Villa, 2003; Lazarus, 2009.

#### 8.4. Apéndice N°4, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de *Jatropha curcas*.

Tabla N°34. Aplicaciones agrícolas.

Variable	Unidad	Cantidad	Equivalencia (MJ/unit)	Fuente
N	Kg ha-1	223,8	74	Kingswood, 2010
P	Kg ha-1	343,6	12,6	Kingswood, 2010
K	Kg ha-1	71,2	6,7	Kingswood, 2010
Herbicida	Kg ha-1	4,8	254,67	Kingswood, 2010
Insecticida	Kg ha-1	0,008	184,79	Kingswood, 2010
Fungicida	Kg ha-1	5,6	97,17	Carrizo, 2011
Maquinaria	L ha-1	116,1	47,8	Arancibia, et al., 2007 y Kingswood, 2010
Plántulas	unit ha-1	3333	15,5	Kingswood, 2010

Fuente: elaboración propia

Tabla N°35. Labranza.

Variable	Pasadas/ha	L/ha	Diesel total
Arado Vertedera	1	23	23
Rastra de disco	2	14,3	28,6
Pulverizador	24	6,5	156
Fertilizador	4	8	32
Cosechadora de grano	1	17,5	17,5

Fuente: elaboración propia

Tabla N°36. Maquinaria agrícola utilizada.

Maquinaria	Consumo (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidad de trabajo (km h <sup>-1</sup> )	Eficiencia de campo (%)	Ancho trabajo (m)	Peso (kg)	Vida útil (h)	Factor de conversión (MJ unit <sup>-1</sup> )
Tractor	-	-	-	-	2500	12.000	93,5
Arado de vertedera	23	7,2	85	2,7	1.205	2.000	66,8
Rastra de disco	14,3	9	80	3,7	1.600	2.000	64
Pulverizador	6,5	9	65	15,2	396	1.500	62,3
Fertilizador	8	11	70	4,6	140	1.200	64,2
Cosechadora de grano (autopropulsada)	17,5	5	70	3,96	14.000	1.650	87,6

Fuente: elaboración propia, a partir de los datos de Hetz et al., 1992; Hetz, 1994; Hetz y Barrios, 1997; Hetz y Villalobos, 1985; ASAE, 2000, Ortiz y Cañavate, 2003; Villa, 2003; Lazarus, 2009.

#### 8.5. Apéndice N°5, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de *Simmondsia chinensis*.

Tabla N°37. Aplicaciones agrícolas.

Variable	Unidad	Cantidad	Equivalencia (MJ/unit)	Fuente
N	Kg ha-1	765	74	Botti, 2001
P	Kg ha-1	0	12,6	Botti, 2001
K	Kg ha-1	0	6,7	Botti, 2001
Herbicida	Kg ha-1	48,6	254,67	Molinos, 1994
Insecticida	Kg ha-1	14,4	184,79	Molinos, 1994
Fungicida	Kg ha-1	27,36	97,17	Molinos, 1994
Maquinaria	L ha-1	682,5	47,8	Botti, 2001
Plántulas	unit ha-1	1250	16	Botti, 2001

Fuente: elaboración propia

Tabla N°38. Labranza.

Variable	Pasadas/ha	L/ha	Diesel total	Fuente
Arado Cincel	1	14,9	14,9	Botti, 2001
Rastra de disco	2	14,3	28,6	Botti, 2001
Cosechadora de grano	7	17,5	157,5	Botti, 2001
Pulverizador	63	6,5	409,5	Botti, 2001
Fertilizador	9	8	72	Botti, 2001

Fuente: elaboración propia

Tabla N°39. Maquinaria agrícola utilizada.

Maquinaria	Consumo (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidad de trabajo (km h <sup>-1</sup> )	Eficiencia de campo (%)	Ancho trabajo (m)	Peso (kg)	Vida útil (h)	Factor de conversión (MJ unid <sup>-1</sup> )
Tractor	-	-	-	-	2500	12.000	93,5
Arado de cincel	14,9	7,3	85	4,6	520	2.000	66,8
Rastra de disco	14,3	9	80	3,7	1.600	2.000	64
Pulverizador	6,5	9	65	15,2	396	1.500	62,3
Fertilizador	8	11	70	4,6	140	1.200	64,2
Cosechadora de grano (autopropulsada)	17,5	5	70	3,96	14.000	1.650	87,6

Fuente: elaboración propia, a partir de los datos de Hetz et al., 1992; Hetz, 1994; Hetz y Barrios, 1997; Hetz y Villalobos, 1985; ASAE, 2000, Ortiz y Cañavate, 2003; Villa, 2003; Lazarus, 2009.

### 8.6. Apéndice N°6, variables utilizadas para el cálculo de la energía neta del cultivo de *Moringa oleifera*.

Tabla N°40. Aplicaciones agrícolas.

Variable	Unidad	Cantidad	Equivalencia (MJ/unit)	Fuente
N	Kg ha-1	82,8	74	Reyes, 2006
P	Kg ha-1	60	12,6	Reyes, 2006
K	Kg ha-1	60	6,7	Reyes, 2006

Variable	Unidad	Cantidad	Equivalencia (MJ/unit)	Fuente
Herbicida	Kg ha-1	4,1	254,67	Berman, 2006
Insecticida	Kg ha-1	0	184,79	Reyes, 2006
Fungicida	Kg ha-1	0	97,17	Reyes, 2006
Maquinaria	L ha-1	95,6	47,8	Reyes, 2006 y Homer, 2012
Plántulas	unit ha-1	1100	18,97	Ayerza, 2012

Fuente: elaboración propia

Tabla N°41. Labranza.

Variable	Pasadas/ha	L/ha	Diesel total	Fuente
Arado disco	1	20,5	20,5	Reyes, 2006
Rastra de disco	2	14,3	28,6	Reyes, 2006
Cosechadora de grano	1	17,5	17,5	Homer, 2012
Pulverizador	2	6,5	13	Homer, 2012
Fertilizador	2	8	16	Reyes, 2006

Fuente: elaboración propia

Tabla N°42. Maquinaria agrícola utilizada.

Maquinaria	Consumo (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidad de trabajo (km h <sup>-1</sup> )	Eficiencia de campo (%)	Ancho de trabajo (m)	Peso (kg)	Vida útil (h)	Factor de conversión (MJ unit <sup>-1</sup> )
Tractor	-	-	-	-	2500	12.000	93,5
Arado de disco	20,5	7,3	85	1,4	1.020	2.000	66,8
Rastra de disco	14,3	9	80	3,7	1.600	2.000	64
Pulverizador	6,5	9	65	15,2	396	1.500	62,3
Fertilizador	8	11	70	4,6	140	1.200	64,2
Cosechadora de grano (autopropulsada)	18,9	5	70	3,96	14.000	1.650	87,6

Fuente: elaboración propia, a partir de los datos de Hetz et al., 1992; Hetz, 1994; Hetz y Barrios, 1997; Hetz y Villalobos, 1985; ASAE, 2000, Ortiz y Cañavate, 2003; Villa, 2003; Lazarus, 2009.

### 8.7. Apéndice N°7, Demanda hídrica de los cultivos analizados.

Para poder establecer la demanda hídrica de los cultivos fue necesario obtener la información sobre las temperaturas medias mensuales y las humedad relativa de cada uno de los cultivos con respecto a su lugar de origen, y luego esta información llevarla al cálculo de evapotranspiración para finalmente estimar el agua que necesita cada especie.

Entendemos por ETP (Evapotranspiración Potencial) a la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, el cual se desarrolla en óptimas condiciones y suponiendo que no existen limitaciones en el suministro de agua (Sánchez, 2001), y esta se calculó con el método de Ivanov, como se puede ver a continuación:

$$ETP = 0,0018 * (25 + t)^2 * (100 - HR) \quad (13)$$

Donde,

- $ETP$  = Evapotranspiración potencial (mm mes<sup>-1</sup>)
- $t$  = Temperatura media mensual del lugar de origen de la especie (°C)
- $HR$  = Humedad relativa del aire del lugar de origen de la especie (%)

Tabla N°43. Valores de ETP para cada mes por cada especie.

Hem. Norte	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Hem. Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Guindilla	147	135	115	86	51	38	35	44	58	79	104	128
Higuerilla	136	118	111	87	72	57	52	66	78	92	112	114
Jatropha	131	131	108	79	73	96	97	104	108	112	107	109
Jojoba	180	149	124	117	101	87	95	133	161	203	209	196
Moringa	127	132	123	117	97	93	87	89	107	105	120	131

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de Cheenpracha *et al.* (2010), Vallejos *et al.* (2011), Tobares *et al.* (2004).

En la siguiente Tabla se pueden apreciar los valores de coeficiente de cultivo utilizados para calcular el ETR de cada una de las especies, según criterio experto.

Tabla N°44. Kc según fase de desarrollo

<b>Kc</b>						
Especies	Fases del desarrollo del cultivo					
	Inicial	Desarrollo cultivo	Mediados del período	Finales del período	Cosecha	Período vegetativo total
G. trinervis	0,3	0,45	0,75	0,4	0,2	<b>0,42</b>
J. curcas	0,4	0,7	0,9	0,65	0,45	<b>0,62</b>
M. oleifera	0,4	0,65	0,85	0,6	0,4	<b>0,58</b>
R. communis	0,4	0,6	0,8	0,65	0,45	<b>0,58</b>
S. chinensis	0,4	0,75	0,95	0,8	0,45	<b>0,67</b>

Fuente: Uribe, 2012.<sup>5</sup>

La ETR (Evapotranspiración Real) es muy similar a la ETP al depender exclusivamente de las condiciones climáticas o meteorológicas, según corresponda, pero es distinto en la medida en que se considere un cultivo en específico, ya que en este caso las condiciones propias del cultivo y de la humedad del suelo quedan incorporadas a través de la aplicación del coeficiente de cultivo (Kc) con el cual se pondera el valor obtenido en ETP (Sánchez, 2001), los valores obtenidos de ETR se pueden apreciar en la Tabla N°47.

$$ETR = ETP * Kc \quad (14)$$

Donde,

- *ETR* = Evapotranspiración real (mm)
- *ETP* = Evapotranspiración potencial (mm)
- *Kc* = Coeficiente de cultivo (adimensional)

Tabla N°45. Valores de ETR para cada mes por cada especie.

Hem. Norte	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Hem. Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Guindilla	61,8	56,9	48,5	36,0	21,6	16,1	14,8	18,4	24,2	33,3	43,6	53,6
Higuerilla	84,4	73,3	68,8	53,7	44,4	35,4	32,3	40,8	48,4	57,1	69,6	70,7
Jatropha	76,2	76,2	62,8	46,0	42,6	55,9	56,3	60,0	62,6	65,2	62,1	63,3
Jojoba	104,5	86,5	72,2	67,7	58,8	50,7	54,9	77,4	93,3	117,8	121,5	113,5
Moringa	85,4	88,3	82,5	78,2	65,3	62,5	58,6	59,9	71,5	70,2	80,3	87,9

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de Cheenpracha *et al.* (2010), Vallejos *et al.* (2011), Tobares *et al.* (2004), Uribe (2012).

<sup>5</sup> Uribe 2012, comunicación personal.

La demanda hídrica estimada para el ciclo de vida completo de cada una de las especies en estudio se puede ver en la Tabla N°48.

Tabla N°46. Demanda hídrica de cada cultivo.

Especie	ETR promedio (mm mes <sup>-1</sup> )	Ciclo de vida de cada especie (meses)	Demanda hídrica ciclo de vida (mm)
Guindilla	35,7	9,0	321,6
Higuerilla	56,6	8,0	452,6
Jatropha	60,8	60,0	3646,6
Jojoba	84,9	108,0	9169,1
Moringa	74,2	36,0	2671,8

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de Cheenpracha *et al.* (2010), Vallejos *et al.* (2011), Tobares *et al.* (2004), Uribe (2012).

### 8.8. Apéndice N°8, Estimación del consumo eléctrico con respecto al uso de bombas de riego en los cultivos.

La estimación del consumo eléctrico con respecto al uso de bombas de riego se realizará a partir del riego por goteo, y este se podría definir como la aplicación frecuente de agua filtrada al suelo en pequeñas cantidades a través de una red de tuberías y dispositivos especiales denominados "emisores", ubicadas a lo largo de la línea de distribución. De esta manera el agua es conducida desde la fuente a cada planta, eliminando totalmente las pérdidas por conducción y minimizando aquellas por evaporación y percolación (Holzapfel, 2013).

Para estimar el volumen de agua necesaria para regar una hectárea de cultivo se utilizó la siguiente fórmula (Duschner, 2012)<sup>6</sup>:

$$C_e = \left( \frac{100 \text{ metros}}{DEL} \right) * \left( \frac{100 \text{ metros}}{DEG} \right) * Cg \quad (15)$$

Donde,

- $C_e$  = Caudal emisor ((L/min) \* ha)
- $DEL$  = Distancia entre líneas (m).
- $DEG$  = Distancia entre goteros (m).
- $Cg$  = Caudal gotero (L/min)

<sup>6</sup> Duschner 2012, comunicación personal.

Los caudales de goteros más comunes son de 2 litros/hora y de 4 litros/hora, lo cual equivale a 0.0333 l/min y 0.0666 l/min respectivamente, en este caso se utilizará el caudal de goteo mayor y un gotero por planta (Duschner, 2012).

Tabla N°47. Caudal emisor por especie.

Especies					
Variables	Guindilla	Higuerilla	Jatropha	Jojoba	Moringa
DEL	2	2	3	4	3
DEG	1,125	1,25	1	2	3
Cg	0,0666	0,0666	0,0666	0,0666	0,0666
<b>Ce</b>	<b>296</b>	<b>266,4</b>	<b>222</b>	<b>83,25</b>	<b>74</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la precipitación del equipo se utilizó la siguiente fórmula, utilizando una línea de riego por hilera (Duschner, 2012)<sup>7</sup>:

$$Ppe = \left( \frac{Ce}{DEL * DEG} \right) * NLH \quad (16)$$

Donde,

- $Pp_e$  = Precipitación del equipo ( $L \text{ mm}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ).
- $NLH$  = Número de líneas por hilera.
- $C_e$  = Caudal emisor ( $4 \text{ L h}^{-1}$ )
- $DEL$  = Distancia entre líneas (m).
- $DEG$  = Distancia entre goteros (m).

Tabla N°48. Precipitación de equipo por especie.

Especies					
Variables	Gundilla	Higuerilla	Jatropha	Jojoba	Moringa
DEL	2	2	3	4	3
DEG	1,125	1,25	1	2	3
Ce	4	4	4	4	4
NLH	1	1	1	1	1
<b>Ppe</b>	<b>1,8</b>	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>7</sup>Duschner 2012, comunicación personal.



Para realizar el cálculo del tiempo de riego ( $Tr$ ) necesario para cada una de las especies se estableció una eficiencia del riego por goteo de un 90%, por lo que es necesario aplicar un 10% más de la demanda hídrica promedio calculada, para esto se utilizó la Ecuación N°17.

$$Tr = \left( \frac{ETR\ prom * 1,1}{0,9} \right) / Pp_e \quad (17)$$

Donde,

- $Tr$  = Tiempo de riego (h)
- $ETR\ prom$  = Evapotranspiración real diaria promedio (mm/d)
- $Pp_e$  = Precipitación del equipo (mm/h).
- Factor 0,9 = Corresponde a un 90% de eficiencia de riego.
- Factor 1,1 = Corresponde al 110% de demanda hídrica (ETR).

Tabla N°49. Tiempo de riego por especie.

Especies					
Variables	Gundilla	Higuerilla	Jatropha	Jojoba	Moringa
Ppe	1,8	1,6	1,3	0,5	0,5
Eficiencia riego	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
110% Demanda hídrica	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
ETR Promedio	1,2	1,9	2,0	2,8	2,5
<b>Tr</b>	<b>0,8</b>	<b>1,4</b>	<b>1,9</b>	<b>6,9</b>	<b>6,8</b>

Fuente: Elaboración propia.

Luego de estimar el tiempo de riego fue necesario establecer la jornada de riego por cultivo, la cual se calcula a partir de las horas disponibles al día para regar (Ecuación N°18).

$$Jr = \frac{Tr}{Hd} \quad (18)$$

Donde,

- $Jr$  = Jornada de riego (h)
- $Tr$  = Tiempo de riego (h)
- $Hd$  = 24 (h)

Tabla N°50. Jornada de riego por especie.

Especies					
Variables	Gundilla	Higuerilla	Jatropha	Jojoba	Moringa
Tr	0,8	1,4	1,9	6,9	6,8
Horas Disp.	24	24	24	24	24
Jr	1,0	1,8	2,3	8,6	8,5

Después de haber establecido la jornada de riego por cultivo se debe determinar el número de sectores de riego, el cual se calculó con la Ecuación N°19.

$$N_s = \frac{H_d}{T_r} \quad (19)$$

Donde,

- $N_s$  = Número de sectores de riego
- $H_d$  = 24 (h)
- $T_r$  = Tiempo de riego (h)

Tabla N°51. Número de sectores de riego por especie.

Especies					
Variables	Gundilla	Higuerilla	Jatropha	Jojoba	Moringa
Hd	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
Tr	0,8	1,4	1,9	6,9	6,8
Ns	29,3	16,7	12,9	3,5	3,5

Se necesitó calcular la presión que requiere la bomba para que el equipo de riego funcione (Tabla N°54). Esta presión estimada corresponde a la presión mínima necesaria para permitir que cada uno de los goteros otorgue el caudal requerido (Duschner, 2012).

Tabla N°52. Carga Dinámica Total

Actividad	Valores (m.c.a.)
Presión de operación	-12.
Pérdida de carga en tuberías	-2
Topografía (sin relieve)	0
Filtros	-6
Miscelaneos	-3
Succión bomba	-3

Actividad	Valores (m.c.a.)
CDT total	-26

Fuente: Duschner, 2012<sup>8</sup>

Finalmente fue necesario determinar la potencia de la bomba a utilizar en el riego por goteo (Ecuación N°20), para llevar la energía a emisiones es necesario transformar los HP a Kw ( $Kw = 0,75 * HP$ ).

$$HP \text{ bomba} = (C * CDT) / (45 * 65) \quad (20)$$

Donde,

- Hp bomba = Potencia de la bomba (HP)
- $C_e$  = Caudal emisor (L/min)\*ha
- CDT = Carga dinámica total (26 m.c.a.)
- Factor 45 = Corresponde a un 90% de eficiencia de riego.
- Factor 65 = Corresponde al 110% de demanda hídrica (ETR).

Tabla N°53. Potencia bomba para riego por especie

	Especies				
Variables	Gundilla	Higuerilla	Jatropha	Jojoba	Moringa
Ce	296	266	222	83	74
CDT	26	26	26	26	26
Factor	45	45	45	45	45
Eficiencia	65	65	65	65	65
<b>HP</b>	<b>2,6</b>	<b>2,4</b>	<b>2,0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>
<b>Kw</b>	<b>2,0</b>	<b>1,8</b>	<b>1,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>

<sup>8</sup> Duschner 2012, comunicación personal.

### 8.9. Apéndice N°9, Estimación huella carbono guindilla.

Alcance	Fuente	Resumen información	Dato	Emisión CO2			Emisión CH4			Emisión N2O			Total
		Unidad		Unidades Factor de Emisión CO2	Factor de Emisión CO2	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2)	Unidades Factor de Emisión CH4	Factor de Emisión CH4	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Unidades Factor de Emisión N2O	Factor de Emisión N2O	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)
1	Emisiones asociadas al cambio de uso de suelo												15,4
	Emisiones por cambio de uso de suelo	[Ton CO2e]											
	1.1. Consumo de diesel asociado a la labranza												
	Arado Cindel	[L]	14,9	[Kg CO2/L]	2,648	0,0394552	[Kg CO2/L]	0,0012	1,788E-05	[Kg CO2/L]	0,0184	0,00027416	0,03974724
	Arado de Disco	[L]	41	[Kg CO2/L]	2,648	0,108568	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000492	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0007544	0,1093716
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	2,648	0,0757328	[Kg CO2/L]	0,0012	3,432E-05	[Kg CO2/L]	0,0184	0,00052624	0,07629336
	Rodillo	[L]	19	[Kg CO2/L]	2,648	0,050312	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000228	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0003496	0,0506844
	Cosechadora para Grano	[L]	17,5	[Kg CO2/L]	2,648	0,04634	[Kg CO2/L]	0,0012	0,000021	[Kg CO2/L]	0,0184	0,000322	0,046683
	Pulverizador	[L]	13	[Kg CO2/L]	2,648	0,034424	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000156	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0002392	0,0346788
	Fertilizador	[L]	24	[Kg CO2/L]	2,648	0,063552	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000288	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0004416	0,0640224
1.2. Fertilización													
Sulfato de Amonio	[Kg N Ha-1]	12,3	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0,01	0,123	0,123	
2	2.1. Consumo de electricidad												
	Riego (consumo total de electricidad)	[MW/h]	0,53	[Ton CO2/MWh]	0,379	0,20087	[Ton CO2/MWh]	0	0	[Ton CO2/MWh]	0	0	0,20087
3	3.1. Emisiones asociadas a la elaboración de combustibles utilizados por maquinarias - Labranza												
	Arado Cindel	[L]	14,9	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0075767	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,00757665
	Arado de Disco	[L]	41	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0208485	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0208485
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0145431	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0145431
	Rodillo	[L]	19	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0096615	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0096615
	Cosechadora para Grano	[L]	17,5	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0088988	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,00889875
	Pulverizador	[L]	13	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0066105	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0066105
	Fertilizador	[L]	24	[Kg CO2/L]	0,5085	0,012204	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,012204
	3.2. Emisiones asociadas a la elaboración de fertilizantes												
	Sulfato de Amonio	[Kg N Ha-1]	12,3	[Ton CO2/Kg N]	0,005645	0,0694286	[Ton CO2/Kg N]	0	0	[Ton CO2/Kg N]	0	0	0,06942858
	Fosfato monopotásico	[Kg P2O5 Ha-1]	15,6	[Ton CO2/Kg P2O5]	0,001052	0,0164081	[Ton CO2/Kg P2O5]	0	0	[Ton CO2/Kg P2O5]	0	0	0,01640808
	Fertilizantes Potásicos	[Kg K2O Ha-1]	10,2	[Ton CO2/Kg K2O]	0,007496	0,0764551	[Ton CO2/Kg K2O]	0	0	[Ton CO2/Kg K2O]	0	0	0,07645512
	3.3. Emisiones asociadas a la producción de aplicaciones												
Herbicidas (Glifosato, MCPA)	[Kg i.a. Ha-1]	5,0743	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0	0	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0	0	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0,0319	0,16187017	0,16187017	
TOTAL EMISIONES ALCANCE 1 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												15,9444808	
TOTAL EMISIONES ALCANCE 2 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												0,20087	
TOTAL EMISIONES ALCANCE 3 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												0,40450495	
EMISIONES TOTALES [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												16,54985575	

## 8.10. Apéndice N°10, Estimación huella carbono higuierilla.

Alcance	Fuente	Resumen información	Dato	Emisión CO2			Emisión CH4			Emisión N2O			Total
		Unidad		Unidades Factor de Emisión CO2	Factor de Emisión CO2	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2)	Unidades Factor de Emisión CH4	Factor de Emisión CH4	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Unidades Factor de Emisión N2O	Factor de Emisión N2O	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)
1	Emisiones asociadas al cambio de uso de suelo												
	Emisiones por cambio de uso de suelo	[Ton CO2e]											15,4
	1.1. Consumo de diesel asociado a la labranza												
	Arado de Disco	[L]	20,5	[Kg CO2/L]	2,648	0,054284	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000246	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0003772	0,0546858
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	2,648	0,0757328	[Kg CO2/L]	0,0012	0,00003432	[Kg CO2/L]	0,0184	0,00052624	0,07629336
	Sembradora de Grano	[L]	8,5	[Kg CO2/L]	2,648	0,022508	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000102	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0001564	0,0226746
	Cosechadora de Grano	[L]	87,5	[Kg CO2/L]	2,648	0,2317	[Kg CO2/L]	0,0012	0,000105	[Kg CO2/L]	0,0184	0,00161	0,233415
	Pulverizador	[L]	19,5	[Kg CO2/L]	2,648	0,051636	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000234	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0003588	0,0520182
	Fertilizador	[L]	16	[Kg CO2/L]	2,648	0,042368	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000192	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0002944	0,0426816
	1.2. Fertilización												
Fertilizantes Nitrogenados	[Kg N Ha-1]	40	[Kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0,01	0,4	0,4	
2	2.1. Consumo de electricidad												
	Riego (consumo total de electricidad)	[MW/h]	0,43	[Ton CO2/MWh]	0,379	0,16297	[Ton CO2/MWh]	0	0	[Ton CO2/MWh]	0	0	0,16297
3	3.1. Emisiones asociadas a la elaboración de combustibles utilizados por maquinarias - Labranza												
	Arado de Disco	[L]	20,5	[Kg CO2/L]	0,5085	0,01042425	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,01042425
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0145431	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0145431
	Sembradora de Grano	[L]	8,5	[Kg CO2/L]	0,5085	0,00432225	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,00432225
	Cosechadora de Grano	[L]	87,5	[Kg CO2/L]	0,5085	0,04449375	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,04449375
	Pulverizador	[L]	19,5	[Kg CO2/L]	0,5085	0,00991575	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,00991575
	Fertilizador	[L]	16	[Kg CO2/L]	0,5085	0,008136	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,008136
	3.2. Emisiones asociadas a la elaboración de fertilizantes												
	Fertilizantes Nitrogenados	[Kg N Ha-1]	40	[Ton CO2/Kg N]	0,005645	0,225784	[Ton CO2/Kg N]		0	[Ton CO2/Kg N]		0	0,225784
	Fertilizantes Fosforados	[Kg P2O5 Ha-1]	40	[Ton CO2/Kg P2O5]	0,001052	0,042072	[Ton CO2/Kg P2O5]		0	[Ton CO2/Kg P2O5]		0	0,042072
	Fertilizantes Potásicos	[Kg K2O Ha-1]	40	[Ton CO2/Kg K2O]	0,007496	0,299824	[Ton CO2/Kg K2O]		0	[Ton CO2/Kg K2O]		0	0,299824
	3.3. Emisiones asociadas a la producción de aplicaciones												
	Herbicidas (Gligosato)	[Kg i.a. Ha-1]	1,42857143	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0	0	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0	0	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0,0319	0,045571429	0,045571429
TOTAL EMISIONES ALCANCE 1 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												16,28176856	
TOTAL EMISIONES ALCANCE 2 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												0,16297	
TOTAL EMISIONES ALCANCE 3 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												0,705086529	
EMISIONES TOTALES [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												17,14982509	

## 8.11. Apéndice N°11, Estimación huella carbono jatropha.

Alcance	Fuente	Resumen información	Dato	Emisión CO2			Emisión CH4			Emisión N2O			Total
		Unidad		Unidades Factor de Emisión CO2	Factor de Emisión CO2	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2)	Unidades Factor de Emisión CH4	Factor de Emisión CH4	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Unidades Factor de Emisión N2O	Factor de Emisión N2O	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)
1	Emisiones asociadas al cambio de uso de suelo												
	Emisiones por cambio de uso de suelo	[Ton CO2e]											15,4
	1.1. Consumo de diesel asociado a la labranza												
	Arado de Vertedera	[L]	23	[Kg CO2/L]	2,648	0,060904	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000276	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0004232	0,0613548
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	2,648	0,0757328	[Kg CO2/L]	0,0012	0,00003432	[Kg CO2/L]	0,0184	0,00052624	0,07629336
	Cosechadora de Granos	[L]	17,5	[Kg CO2/L]	2,648	0,04634	[Kg CO2/L]	0,0012	0,000021	[Kg CO2/L]	0,0184	0,000322	0,046683
	Pulverizador	[L]	156	[Kg CO2/L]	2,648	0,413088	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0001872	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0028704	0,4161456
	Fertilizador	[L]	32	[Kg CO2/L]	2,648	0,084736	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000384	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0005888	0,0853632
	1.2. Fertilización												
	Urea	[Kg N Ha-1]	223,81	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0,01	2,2381	2,2381
1.3. Aplicaciones													
2	2.1. Consumo de electricidad												
	Riego (consumo total de electricidad)	[MW/h]	2,66	[Ton CO2/MWh]	0,379	1,00814	[Ton CO2/MWh]	0	0	[Ton CO2/MWh]	0	0	1,00814
3	3.1. Emisiones asociadas a la elaboración de combustibles utilizados por maquinarias - Labranza												
	Arado de Vertedera	[L]	23	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0116955	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0116955
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0145431	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0145431
	Cosechadora de Granos	[L]	17,5	[Kg CO2/L]	0,5085	0,00889875	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,00889875
	Pulverizador	[L]	156	[Kg CO2/L]	0,5085	0,079326	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,079326
	Fertilizador	[L]	32	[Kg CO2/L]	0,5085	0,016272	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,016272
	3.2. Emisiones asociadas a la elaboración de fertilizantes												
	Urea	[Kg N Ha-1]	223,81	[Ton CO2/Kg N]	0,004019	0,89947001	[Ton CO2/Kg N]	0	0	[Ton CO2/Kg N]	0	0	0,899470009
	SPT	[Kg P2O5 Ha-1]	343,62	[Ton CO2/Kg P2O5]	0,001052	0,36141952	[Ton CO2/Kg P2O5]	0	0	[Ton CO2/Kg P2O5]	0	0	0,361419516
	Nitrato de Potasio	[Kg K2O Ha-1]	71,28	[Ton CO2/Kg K2O]	0,007496	0,53428637	[Ton CO2/Kg K2O]	0	0	[Ton CO2/Kg K2O]	0	0	0,534286368
	3.3. Emisiones asociadas a la producción de aplicaciones												
	Herbicidas (Rango 480 SL (Glifosato), Simazina)	[Kg i.a. Ha-1]	5,88	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0	0	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0	0	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0,0319	0,187572	0,187572
	TOTAL EMISIONES ALCANCE 1 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												18,32393996
TOTAL EMISIONES ALCANCE 2 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												1,00814	
TOTAL EMISIONES ALCANCE 3 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												2,113483243	
EMISIONES TOTALES [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												21,4455632	

## 8.12. Apéndice N°12, Estimación huella carbono jojoba.

Alcance	Fuente	Resumen información	Dato	Emisión CO2			Emisión CH4			Emisión N2O			Total
		Unidad		Unidades Factor de Emisión CO2	Factor de Emisión CO2	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2)	Unidades Factor de Emisión CH4	Factor de Emisión CH4	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Unidades Factor de Emisión N2O	Factor de Emisión N2O	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)
1	Emisiones asociadas al cambio de uso de suelo												
	Emisiones por cambio de uso de suelo	[Ton CO2e]											15,4
	1.1. Consumo de diesel asociado a la labranza												
	Arado Cíncel	[L]	14,9	[Kg CO2/L]	2,648	0,0394552	[Kg CO2/L]	0,0012	0,00001788	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0002742	0,03974724
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	2,648	0,0757328	[Kg CO2/L]	0,0012	0,00003432	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0005262	0,07629336
	Cosechadora para grano	[L]	123	[Kg CO2/L]	2,648	0,32438	[Kg CO2/L]	0,0012	0,000147	[Kg CO2/L]	0,0184	0,002254	0,326781
	Pulverizador	[L]	410	[Kg CO2/L]	2,648	1,084356	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0004914	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0075348	1,0923822
	Fertilizador	[L]	72	[Kg CO2/L]	2,648	0,190656	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000864	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0013248	0,1920672
	1.2. Fertilización												
	Fertilizantes Nitrogenados	[Kg N Ha-1]	765	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0,01	7,65	7,65
2	2.1. Consumo de electricidad												
	Riego (consumo total de electricidad)	[MW/h]	1,8	[Ton CO2/MWh]	0,379	0,6822	[Ton CO2/MWh]	0	0	[Ton CO2/MWh]	0	0	0,6822
3	3.1. Emisiones asociadas a la elaboración de combustibles utilizados por maquinarias - Labranza												
	Arado Cíncel	[L]	14,9	[Kg CO2/L]	0,5085	0,00757665	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,00757665
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0145431	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0145431
	Cosechadora para grano	[L]	123	[Kg CO2/L]	0,5085	0,06229125	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,06229125
	Pulverizador	[L]	410	[Kg CO2/L]	0,5085	0,20823075	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,20823075
	Fertilizador	[L]	72	[Kg CO2/L]	0,5085	0,036612	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,036612
	3.2. Emisiones asociadas a la elaboración de fertilizantes												
	Fertilizantes Nitrogenados	[Kg N/Ha]	765	[Ton CO2/Kg N]	0,005645	4,318119	[Ton CO2/Kg N]	0	0	[Ton CO2/Kg N]	0	0	4,318119
	3.3. Emisiones asociadas a la producción de aplicaciones												
	Herbicidas (Paraquat)	(Gramoxone)	[Kg i.a. Ha-1]	48,6	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0		[Ton CO2 / Kg i. a.]	0		[Ton CO2 / Kg i. a.]	0,0319	1,55034
<b>TOTAL EMISIONES ALCANCE 1 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =</b>												<b>24,777271</b>	
<b>TOTAL EMISIONES ALCANCE 2 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =</b>												<b>0,6822</b>	
<b>TOTAL EMISIONES ALCANCE 3 [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =</b>												<b>6,19771275</b>	
<b>EMISIONES TOTALES [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =</b>												<b>31,65718375</b>	

## 8.13. Apéndice N°13, Estimación huella carbono moringa.

Alcance	Fuente	Resumen información	Dato	Emisión CO2			Emisión CH4			Emisión N2O			Total
		Unidad		Unidades Factor de Emisión CO2	Factor de Emisión CO2	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2)	Unidades Factor de Emisión CH4	Factor de Emisión CH4	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	Unidades Factor de Emisión N2O	Factor de Emisión N2O	Emisiones Ciclo de Vida (ton CO2e)	
1	Emisiones asociadas al cambio de uso de suelo												
	Emisiones por cambio de uso de suelo	[Ton CO2e]											15,4
	1.1. Consumo de diesel asociado a la labranza												
	Arado de Disco	[L]	20,5	[Kg CO2/L]	2,648	0,054284	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000246	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0003772	0,0546858
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	2,648	0,0757328	[Kg CO2/L]	0,0012	0,00003432	[Kg CO2/L]	0,0184	0,00052624	0,07629336
	Cosechadora para Grano	[L]	52,5	[Kg CO2/L]	2,648	0,13902	[Kg CO2/L]	0,0012	0,000063	[Kg CO2/L]	0,0184	0,000966	0,140049
	Pulverizador	[L]	39	[Kg CO2/L]	2,648	0,103272	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000468	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0007176	0,1040364
	Fertilizador	[L]	48	[Kg CO2/L]	2,648	0,127104	[Kg CO2/L]	0,0012	0,0000576	[Kg CO2/L]	0,0184	0,0008832	0,1280448
	1.2. Fertilización												
	Urea	[Kg N Ha-1]	248,4	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0	0	[kg N-N2O/kg N]	0,01	2,484	2,484
2	2.1. Consumo de electricidad												
	Riego (consumo total de electricidad)	[MW/h]	0,53	[Ton CO2/MWh]	0,379	0,20087	[Ton CO2/MWh]	0	0	[Ton CO2/MWh]	0	0	0,20087
3	3.1. Emisiones asociadas a la elaboración de combustibles utilizados por maquinarias - Labranza												
	Arado de Disco	[L]	20,5	[Kg CO2/L]	0,5085	0,01042425	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,01042425
	Rastra de Disco	[L]	28,6	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0145431	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0145431
	Cosechadora para Grano	[L]	52,5	[Kg CO2/L]	0,5085	0,02669625	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,02669625
	Pulverizador	[L]	39	[Kg CO2/L]	0,5085	0,0198315	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,0198315
	Fertilizador	[L]	48	[Kg CO2/L]	0,5085	0,024408	[Kg CO2/L]	0	0	[Kg CO2/L]	0	0	0,024408
	3.2. Emisiones asociadas a la elaboración de fertilizantes												
	Urea	[Kg N Ha-1]	248,4	[Ton CO2/Kg N]	0,0040189	0,99829476	[Ton CO2/Kg N]	0	0	[Ton CO2/Kg N]	0	0	0,99829476
	Fertilizantes Fosforados	[Kg P2O5 Ha-1]	60	[Ton CO2/Kg P2O5]	0,0010518	0,063108	[Ton CO2/Kg P2O5]	0	0	[Ton CO2/Kg P2O5]	0	0	0,063108
	Fertilizantes Potasicos	[Kg K2O Ha-1]	60	[Ton CO2/Kg K2O]	0,0074956	0,449736	[Ton CO2/Kg K2O]	0	0	[Ton CO2/Kg K2O]	0	0	0,449736
	3.3. Emisiones asociadas a la producción de aplicaciones												
Herbicidas (Glifosato, MCPA)	[Kg i.a. Ha-1]	4,0743	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0	0	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0	0	[Ton CO2 / Kg i. a.]	0,0319	0,12997017	0,12997017	
<b>TOTAL EMISIONES ALCANCE 1</b> [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												<b>18,387109</b>	
<b>TOTAL EMISIONES ALCANCE 2</b> [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												<b>0,20087</b>	
<b>TOTAL EMISIONES ALCANCE 3</b> [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												<b>1,737012</b>	
<b>EMISIONES TOTALES</b> [Ton CO2e / Ciclo de vida de la planta] =												<b>20,324991</b>	



**8.14. Apéndice N°14, Estimación energía neta guindilla.**

<b>Variable</b>	<b>Unidades</b>	<b>Guindilia trinervis</b>
Fertilizante utilizado (N)	Kg ha-1	12,3
Factor de conversión (N)	MJ Kg-1	74
Fertilizante utilizado(P)	Kg ha-1	15,6
Factor de conversión (P)	MJ Kg-1	12,6
Fertilizante utilizado (K)	Kg ha-1	10,2
Factor de conversión (K)	MJ Kg-1	6,7
Herbicida	Kg ha-1	4,1
Factor de conversión (herbicida)	MJ Kg-1	254,7
Insecticida	Kg ha-1	0
Factor de conversión (insecticida)	MJ Kg-1	184,8
Fungicida	Kg ha-1	0
Factor de conversión (fungicida)	MJ Kg-1	97,2
Cal	Kg ha-1	0
Factor de conversión (cal)	MJ Kg-1	1,7
Maquinaria	L ha-1	158
Factor de conversión (combustible)	MJ L-1	47,8
Semillas, tubérculos o Plántulas	unit ha-1	444,4
Factor de conversión	MJ unit-1	16
<b>Flujo directo</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>16875,5</b>

JH	8 horas/día	40
t (JH*h)	h ha-1	320
Ofc (1/t)	ha h-1	0,003
W	Kg	39020
Ofc	ha h-1	0,003
UI	h	110350
Md ((W*Fc)/(Ofc*UI))	MJ ha-1	113,2
man (JH)	día ha-1	40
Lh	horas/día	8
Lb	h ha-1	320
<b>Flujo indirecto</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>433,2</b>

<b>Flujo de entrada</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>17308,7</b>
-------------------------	----------------	----------------

Y (Rendimiento)	kg ha-1	789
E (equivalencia energética)	MJ Kg-1	23,0
<b>Flujo de salida</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>18158,8</b>

<b>Energía neta</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>850,2</b>
---------------------	----------------	--------------

## 8.15. Apéndice N°15, Estimación energía neta higuerrilla.

Variable	Unidades	<i>Ricinus communis</i>
Fertilizante utilizado (N)	Kg ha-1	40,0
Factor de conversión (N)	MJ Kg-1	74,0
Fertilizante utilizado(P)	Kg ha-1	40,0
Factor de conversión (P)	MJ Kg-1	12,6
Fertilizante utilizado (K)	Kg ha-1	40,0
Factor de conversión (K)	MJ Kg-1	6,7
Herbicida	Kg ha-1	1,4
Factor de conversión (herbicida)	MJ Kg-1	254,7
Insecticida	Kg ha-1	0,1
Factor de conversión (insecticida)	MJ Kg-1	184,8
Fungicida	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (fungicida)	MJ Kg-1	97,2
Cal	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (cal)	MJ Kg-1	1,7
Maquinaria	L ha-1	172,1
Factor de conversión (combustible)	MJ L-1	47,8
Semillas, tubérculos o Plántulas	unit ha-1	400,0
Factor de conversión	MJ unit-1	16,0
<b>Flujo directo</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>18744,7</b>

JH	8 horas/día	36,0
t (JH*h)	h ha-1	288,0
Ofc (1/t)	ha h-1	0,0
W	Kg	28156,0
Ofc	ha h-1	0,0
UI	h	68350,0
Md ((W*Fc)/(Ofc*UI))	MJ ha-1	118,7
man (JH)	día ha-1	36,0
Lh	horas/día	8,0
Lb	h ha-1	288,0
<b>Flujo indirecto</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>406,7</b>

<b>Flujo de entrada</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>19151,4</b>
-------------------------	----------------	----------------

Y (Rendimiento)	kg ha-1	4000,0
E (equivalencia energética)	MJ Kg-1	28,8
<b>Flujo de salida</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>115040,0</b>

<b>Energía neta</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>95888,6</b>
---------------------	----------------	----------------

### 8.16. Apéndice N°16, Estimación energía neta jatropha.

Variable	Unidades	<i>Jatropha curcas</i>
Fertilizante utilizado (N)	Kg ha-1	223,8
Factor de conversión (N)	MJ Kg-1	74,0
Fertilizante utilizado(P)	Kg ha-1	343,6
Factor de conversión (P)	MJ Kg-1	12,6
Fertilizante utilizado (K)	Kg ha-1	71,2
Factor de conversión (K)	MJ Kg-1	6,7
Herbicida	Kg ha-1	4,8
Factor de conversión (herbicida)	MJ Kg-1	254,7
Insecticida	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (insecticida)	MJ Kg-1	184,8
Fungicida	Kg ha-1	5,6
Factor de conversión (fungicida)	MJ Kg-1	97,2
Cal	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (cal)	MJ Kg-1	1,7
Maquinaria	L ha-1	116,1
Factor de conversión (combustible)	MJ L-1	47,8
Semillas, tubérculos o Plántulas	unit ha-1	333,3
Factor de conversión	MJ unit-1	15,5
<b>Flujo directo</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>33851,4</b>

JH	8 horas/día	30,0
t (JH*h)	h ha-1	240,0
Ofc (1/t)	ha h-1	0,0
W	Kg	14341,0
Ofc	ha h-1	0,0
UI	h	54700,0
Md ((W*Fc)/(Ofc*UI))	MJ ha-1	83,9
man (JH)	día ha-1	40,0
Lh	horas/día	8,0
Lb	h ha-1	320,0
<b>Flujo indirecto</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>403,9</b>

<b>Flujo de entrada</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>34255,3</b>
-------------------------	----------------	----------------

Y (Rendimiento)	kg ha-1	8000,0
E (equivalencia energética)	MJ Kg-1	24,0
<b>Flujo de salida</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>192000,0</b>

<b>Energía neta</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>157744,7</b>
---------------------	----------------	-----------------

### 8.17. Apéndice N°17, Estimación energía neta jojoba.

Variable	Unidades	<i>Simmondsia chinensis</i>
Fertilizante utilizado (N)	Kg ha-1	765,0
Factor de conversión (N)	MJ Kg-1	74,0
Fertilizante utilizado(P)	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (P)	MJ Kg-1	12,6
Fertilizante utilizado (K)	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (K)	MJ Kg-1	6,7
Herbicida	Kg ha-1	48,6
Factor de conversión (herbicida)	MJ Kg-1	254,7
Insecticida	Kg ha-1	14,4
Factor de conversión (insecticida)	MJ Kg-1	184,8
Fungicida	Kg ha-1	27,4
Factor de conversión (fungicida)	MJ Kg-1	97,2
Cal	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (cal)	MJ Kg-1	1,7
Maquinaria	L ha-1	682,5
Factor de conversión (combustible)	MJ L-1	47,8
Semillas, tubérculos o Plántulas	unit ha-1	125,0
Factor de conversión	MJ unit-1	16,0
<b>Flujo directo</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>108930,0</b>

JH	8 horas/día	11,3
t (JH*h)	h ha-1	90,0
Ofc (1/t)	ha h-1	0,0
W	Kg	27656,0
Ofc	ha h-1	0,0
Ul	h	68350,0
Md ((W*Fc)/(Ofc*Ul))	MJ ha-1	129,5
man (JH)	día ha-1	11,3
Lh	horas/día	8,0
Lb	h ha-1	90,0
<b>Flujo indirecto</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>219,5</b>

<b>Flujo de entrada</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>109149,5</b>
-------------------------	----------------	-----------------

Y (Rendimiento)	kg ha-1	18910,0
E (equivalencia energética)	MJ Kg-1	25,9
<b>Flujo de salida</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>490305,6</b>

<b>Energía neta</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>381156,1</b>
---------------------	----------------	-----------------

### 8.18. Apéndice N°18, Estimación energía neta moringa.

Variable	Unidades	<i>Moringa oleifera</i>
Fertilizante utilizado (N)	Kg ha-1	82,8
Factor de conversión (N)	MJ Kg-1	74,0
Fertilizante utilizado(P)	Kg ha-1	60,0
Factor de conversión (P)	MJ Kg-1	12,6
Fertilizante utilizado (K)	Kg ha-1	60,0
Factor de conversión (K)	MJ Kg-1	6,7
Herbicida	Kg ha-1	4,1
Factor de conversión (herbicida)	MJ Kg-1	254,7
Insecticida	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (insecticida)	MJ Kg-1	184,8
Fungicida	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (fungicida)	MJ Kg-1	97,2
Cal	Kg ha-1	0,0
Factor de conversión (cal)	MJ Kg-1	1,7
Maquinaria	L ha-1	95,6
Factor de conversión (combustible)	MJ L-1	47,8
Semillas, tubérculos o Plántulas	unit ha-1	110,0
Factor de conversión	MJ unit-1	19,0
<b>Flujo directo</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>14985,7</b>

JH	8 horas/día	10,0
t (JH*h)	h ha-1	80,0
Ofc (1/t)	ha h-1	0,0
W	Kg	28156,0
Ofc	ha h-1	0,0
UI	h	68350,0
Md ((W*Fc)/(Ofc*UI))	MJ ha-1	131,8
man (JH)	día ha-1	10,0
Lh	horas/día	8,0
Lb	h ha-1	80,0
<b>Flujo indirecto</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>211,8</b>

<b>Flujo de entrada</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>15197,6</b>
-------------------------	----------------	----------------

Y (Rendimiento)	kg ha-1	3000,0
E (equivalencia energética)	MJ Kg-1	26,7
<b>Flujo de salida</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>80040,0</b>

<b>Energía neta</b>	<b>MJ ha-1</b>	<b>64842,4</b>
---------------------	----------------	----------------