



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo  
Integral Regional Unidad Oaxaca.

Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA E IMPACTO  
AGROECOLÓGICO DE TRES SISTEMAS LABRANZA UTILIZADOS  
EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LOS VALLES  
CENTRALES DE OAXACA”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS.**

PRESENTA

**NIURKA MENA MESA**

DIRECTOR

**Dr. Jaime Ruiz Vega**

Oaxaca de Juárez, Mexico

Marzo 2018



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México, D.F. el día 19 del mes de enero del año 2018, el (la) que suscribe MENA MESA NIURKA alumno (a) del Programa de Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, con número de registro B081490, adscrito(a) al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca**, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) **Dr. Jaime Ruíz Vega** y cede los derechos del trabajo titulado **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGETICA E IMPACTO AGROECOLOGICO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones [posgradoax@hotmail.com](mailto:posgradoax@hotmail.com), [nmenamesa@yahoo.com](mailto:nmenamesa@yahoo.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

NIURKA MENA MESA  
Nombre y firma del alumno(a)



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 14:00 horas del día 13 del mes de noviembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR - OAXACA para examinar la tesis titulada:  
EVALUACION DE LA EFICIENCIA ENERGETICA E IMPACTO AGROECOLOGICO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA UTILIZADOS EN LA PRODUCCION DE MAIZ (Zea mays L.) EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA.

Presentada por el alumno:

Mena	Mesa							
Apellido paterno	Apellido materno							
Nombre(s) <u>Niurka</u>								
	Con registro: <table border="1"><tr><td>B</td><td>0</td><td>8</td><td>1</td><td>4</td><td>9</td><td>0</td></tr></table>	B	0	8	1	4	9	0
B	0	8	1	4	9	0		

aspirante de:

Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

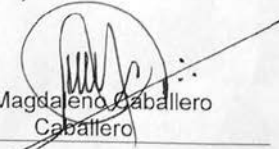
### LA COMISIÓN REVISORA


Director(a) de tesis

  
Dr. Jaime Ruíz Vega


  
Dr. Rafael Pérez Pacheco


  
Dr. Celerino Robles Pérez

  
Dr. Magdalena Caballero

  
Dr. Teodulfo Aquino Bolaños

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez

  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.

## INDICE

Sección	Páginas
AGRADECIMIENTOS.....	
LISTA DE CUADROS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS.....	3
3. OBJETIVOS.....	3
3.1 Objetivo general.....	3
3.2 Objetivos particulares.....	3
4. ANTECEDENTES.....	4
5. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
5.1 Consideraciones generales sobre labranza.....	7
5.2 Labranza de suelos y su repercusión medioambiental.....	9
5.3 Mecánica de la tracción animal en la labranza del suelo.....	10
5.4 Métodos para la determinación de los parámetros técnicos.....	11
5.5 Fundamentación teórica para el cálculo del consumo energético.....	14
5.6 Indicadores energéticos en los sistemas agrícolas.....	14
5.7 Influencia de los indicadores edáficos en las propiedades físicas de los suelos.....	15
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
6.1 Diagnóstico Agroecológico de las fincas de estudio.....	15
6.2 Caracterización de los sitios de estudio.....	18
6.3 Muestras de suelos.....	20
6.4 Caracterización del hábitat y razas de animales.....	21
6.5 Valores energéticos de los insumos.....	22
6.6 Eficiencia energética.....	26
6.7 Análisis estadístico.....	26
6.8 Indicadores Agroecológicos y de sostenibilidad.....	26
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
7.1 Diagnóstico Agroecológico de las fincas en estudio.....	34
7.2 Valores energéticos de los insumos.....	35
7.3 Eficiencia energética.....	36
7.4 Precipitación pluvial y Tasas de Crecimiento del Cultivo.....	39

7.5 Producción de materia seca.....	40
7.6 Indicadores Agroecológicos y de sostenibilidad.....	44
8. CONCLUSIONES .....	52
9. LITERATURA CITADA.....	54
10. APÉNDICE.....	66
10.1 Diagnóstico agroecológico	66
10.2 Diagnóstico de indicadores socioeconómicos	70

## LISTA DE CUADROS

Cuadros		Paginas
1	Características geográficas de los sitios experimentales.....	16
2	Características fisiográficas, pendiente y unidad de suelos de los sitios experimentales.....	17
3	Operaciones tecnológicas por sistema de labranza.....	19
4	Equivalencia energética de distintos insumos utilizados para la producción agrícola.....	23
5	Especificaciones técnicas de la celda de carga LCCA-750.....	24
6	Lecturas de fuerza de tracción medidas con celda de carga..... por labor realizada en Cuilapam de Guerrero, Zaachila.....	35
7	Energía aportada por los diferentes insumos energéticos (MJ ha <sup>-1</sup> ).....	37
8	Indicadores de eficiencia energética.....	38
9	Valores medios y errores estándar de las tasas de crecimiento de la altura de los cultivos y tasas de desarrollo foliar para el maíz en diferentes fechas y sitios.....	40
10	Rendimientos del maíz, forraje, densidad de plantas, y producción de maleza y materia seca total por sitio.....	42
11	Características físicas y químicas de los suelos por sitio.....	42
12	Rendimientos del maíz, forraje, densidad de plantas, y	

	producción de maleza y materia seca (MS) total por sistema de labranza.....	44
<b>13</b>	Indicadores de calidad del suelo por sitio.....	44
<b>14</b>	Valores promedio y error estándar de los indicadores de calidad del suelo por sistema de labranza.....	45
<b>15</b>	Indicadores de salud de las plantas de maíz por sitio.....	46
<b>16</b>	Valores promedio y error estándar de los indicadores de salud de las plantas por sistema de labranza.....	47
<b>17</b>	Valores de los indicadores de sostenibilidad socioeconómica por sitio.....	48
<b>18</b>	Valores promedio de indicadores socioeconómicos de sostenibilidad por sistema de labranza.....	49
<b>19</b>	Valores promedio de los grupos de indicadores por sistema de labranza.....	50

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>		<b>Páginas</b>
<b>1</b>	Distribución de los sitios por localidad.....	16
<b>2</b>	Apertura y descripción de perfiles de suelo de los 6 sitios de estudio.....	17
<b>3</b>	Características de los animales usados en el estudio.....	19
<b>4</b>	Celda de carga acoplada al arado de palo .....	23
<b>5</b>	Medición de la fuerza de tracción de los animales de tiro, con celda de carga LCCA-750.....	24
<b>6</b>	Fuerza en Función del ángulo de desplazamiento.....	25
<b>7</b>	Medidas del terreno y recogida de muestras de suelo en el campo.....	28
<b>8</b>	Muestreo de la compactación con penetrómetro marca Spectrum modelo SC-900.....	29
<b>9</b>	Ubicación de los sitios de muestra dentro de las parcelas.....	30
<b>10</b>	Factores o variables que afectaron el uso de la energía y su interacción	34



## **DEDICATORIA**

**A mi madre que en gloria esté y a mi padre, que me dio toda la fuerza para  
continuar...**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor, Dr. Jaime Ruiz Vega, por su apoyo incondicional durante todo el programa de estudios.

Al IPN en general y a todo el CIIDIR- OXACA por permitirme ser parte de su alumnado, y conocer otra cultura.

Al CONACYT por haberme brindado el apoyo económico para desarrollar las investigaciones y estancia en este país.

A mi esposo e hijo por haberme impulsado a cumplir en todo momento.

A todos los profesores y alumnos del CIIDIR- Oaxaca que de alguna manera fueron parte de mi formación integral.

Gracias a todos los omitidos involuntariamente.

## RESUMEN

Para determinar la eficiencia energética y el impacto agroecológico de tres sistemas de labranza para tomar mejores decisiones para la gestión sostenible de éstos, entre 2007 y 2010 se cuantificaron la cantidad de insumos utilizados para la producción de maíz (*Zea mays* L.), así como el rendimiento agrícola en seis sitios ubicados en los distritos de Zaachila y Etna, pertenecientes a los Valles Centrales de Oaxaca. Los sistemas de labranza evaluados fueron: labranza con tracción animal (LTA), labranza mixta (LMx) y labranza mecanizada (LM), los más empleados para la producción de maíz en esta región. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones y el diseño de tratamientos un factorial anidado; se realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para comparar las medias. De acuerdo con el balance energético, la mayor eficiencia energética se alcanzó en el sistema LTA con un valor de  $34.4 \text{ MJ ha}^{-1}$  y la menor con el sistema LM. Sin embargo, no existieron diferencias significativas con el sistema LMx, por lo cual también se recomienda utilizar éste, ya que con LMx se obtuvieron niveles de rendimientos por jornada mayores durante la labranza primaria y así se promueve el uso de la tracción animal para las operaciones subsecuentes. En cuanto a los indicadores agroecológicos, las parcelas bajo el sistema de LTA mostraron los mayores valores para los indicadores de calidad del suelo, la salud de los cultivos y la sostenibilidad socio-económica. En general, los indicadores que más contribuyeron con la clasificación del suelo en mayor calidad fueron: la actividad biológica y la estructura del suelo. En la tracción mixta y sistemas totalmente mecanizados los indicadores que más disminuyeron la salud de las plantas fueron el uso de monocultivo y agroquímicos. Los sitios con mayor valor total de los indicadores socioeconómicos se caracterizaron por un menor endeudamiento y dependencia de subsidios, así como un mayor control de los recursos locales.

**Palabras clave:** labranza mixta, agroecosistemas, tracción animal, tracción mecánica.

## **ABSTRACT**

In order to determine the energy efficiency and the impact of three agro-ecological farming systems to make better decisions for their sustainable management, between 2007 and 2010, quantified the amount of inputs used in the production of corn (*Zea mays* L.) and agricultural yields in six sites located in the districts of Zaachila and ETLA, belonging to the Central Valleys of Oaxaca. The tillage systems evaluated, which are most widely used for corn production in this region, were: tillage with full animal traction (LTA), mixed farming (LMX) and mechanical tillage (LM). The experimental design was a randomized block with four replications and a nested factorial treatment design, an analysis of variance and the Tukey test ( $P \leq 0.05$ ) to compare means were carried out. According to the energy balance, the largest energy efficiency was achieved in the LTA system with a value of 34.4 MJ ha<sup>-1</sup> and the least with the LM system. However, since no significant differences were found between the LTA and LMX systems, this is also recommended as it promotes the use of animal traction as a renewable source of energy for subsequent operations. Regarding the agroecological indicators, the plots under the LTA system showed the largest values for the indicators of soil quality, crop health and socio-economic sustainability. Overall, the indicators that contributed most to a higher soil quality ranking were biological activity and soil structure. In the LMX and LM systems, the indicators that decreased plant health the most were the use of mono-cropping and agrochemicals. The sites with higher total value for socio-economic indicators were characterized by a smaller debt and subsidy dependence, as well as for having a higher control of local resources.

**Key words:** mixed traction, agroecosystems, animal traction, mechanized traction.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo (INEGI, 2017), en el estado de Oaxaca en el 76 % de la superficie agrícola se cultiva maíz (*Zea mays* L.) bajo el sistema tradicional de labranza, realizando las labores de laboreo del suelo con yuntas. La mayoría los agricultores oaxaqueños siembran al menos una hectárea de este cereal para autoconsumo, establecida como agroecosistema de milpa, en el cual se realiza la siembra de otros cultivos asociados al maíz, principalmente frijol y calabaza. Algunas malezas o arvenses que crecen en la milpa también son empleadas para el consumo humano, pero la mayor parte se le dan al ganado.

A pesar de ser una región de agricultura tradicional, muchos agricultores prefieren barbechar con tractor, aplicando hasta siete operaciones de labranza primaria. (Koga, 2008) y (Bertocco et al., 2008) plantean la sustitución de estas tecnologías por prácticas de laboreo que conduzcan a una mejor conservación del suelo, y logren reducir los procesos de degradación, tales como compactación, erosión, y pérdidas de materia orgánica. También se recomienda reducir el número de operaciones tecnológicas, ya que representan un alto consumo energético (Paneque et al., 2006).

Los métodos tradicionales hacen uso intensivo de mano de obra y semillas criollas, mientras que la agricultura moderna requiere de aportes de energía fósil para la producción, combustibles para la operación de maquinaria y energía eléctrica para extraer agua para el riego (Denoia y Montico, 2010)

La evaluación energética es un proceso de análisis que consiste en la identificación y medida de las cantidades de energía secuestrada asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien. Los procesos estudian las energías asociadas a estos que se requieren para conseguir un producto final. Cada uno de ellos presenta una serie de exigencias, siendo la energía total la suma de los parciales de cada proceso. (Paneque et al., 2006).

Para lograr satisfacer las necesidades alimenticias y de otros bienes materiales; en general, se debe contribuir a mejorar la calidad de vida de la población de manera sostenible. Para lograr estos objetivos se requieren sistemas de producción que además de lograr niveles adecuados de productividad y eficiencia, también contribuyan a la conservación del medio ambiente. (Funes-Monzote, 2009).

Para evaluar la condición de los agroecosistemas, (Gomez, et al., 1996) y (Maserá et al., 1999) han propuesto indicadores de sitio, incluida la degradación del suelo y las características de la planta, como el vigor, la salud y la producción. (Altieri y Nicholls, 2002) propusieron varios indicadores para la calidad del suelo y la salud de las plantas para evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas de café en Costa Rica. De acuerdo con (Roger-Estrade et al., 2010), el fundamento de los sistemas de manejo sostenible de cultivos se basa en el logro de objetivos de múltiples criterios, por lo tanto, el rendimiento de los cultivos es solo uno de los factores a considerar al evaluar el funcionamiento de un sistema de manejo de cultivos.

El empleo de técnicas inadecuadas de labranza ha causado que se desencadenen procesos erosivos y la reducción de la fertilidad de los suelos agrícolas en los Valles Centrales de Oaxaca, México (Ruíz, 1998), lo cual ha contribuido a la insostenibilidad de los sistemas de producción de maíz, al requerirse mayor cantidad de insumos energéticos para obtener igual producción por unidad de superficie cultivada (Maserá y Astier, 1996).

El objetivo de esta investigación fue la evaluación de la eficiencia energética y el impacto agroecológico de tres sistemas de labranza: labranza con tracción animal (LTA), labranza mixta (LMx) y labranza mecanizada (LM), con el fin de tener información para tomar mejores decisiones para la gestión sostenible de agroecosistemas temporaleros para la producción de maíz (*Z. mays*).

## **2. HIPÓTESIS**

La eficiencia energética y la variación de la salud de los suelos en un sistema de producción de maíz están altamente determinadas por las técnicas e intensidades de labranza utilizadas, por lo que su determinación permitirá evaluar su sostenibilidad y contribuirá a la toma de mejores decisiones para la gestión sostenible del agroecosistema.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivos generales**

Determinación de la eficiencia energética y el impacto agroecológico de tres sistemas de labranza para la producción de maíz a través de la cuantificación del flujo energético en el sistema y los indicadores edáficos y del cultivo para evaluar su sostenibilidad y contribuir a la toma de mejores decisiones para la gestión sostenible del agroecosistema.

### **3.2 Objetivos particulares**

Caracterizar los sistemas de labranzas utilizados para producción de Maíz en los Valles centrales de Oaxaca.

Determinar el flujo energético en tres sistemas de preparación del suelo para la producción de maíz: labranza mixta, tracción animal, y mecanizado.

Evaluar la eficiencia energética del sistema de producción de maíz bajo diferentes sistemas de labranza.

Determinar el impacto agroecológico de las operaciones de labranza a través de indicadores edáficos y del cultivo, incluyendo rendimiento de grano y forraje.

Determinar el impacto sobre las decisiones de manejo sostenible de los agroecosistemas en los sitios de estudios.

#### **4. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

El uso de técnicas inadecuadas de labranza ha aumentado la erosión del suelo y la pérdida de fertilidad de suelos agrícolas en los Valles Centrales de Oaxaca ( Ruiz, 1998), lo que ha contribuido a la insostenibilidad de los sistemas de producción de maíz, ya que la labranza mecanizada requiere una mayor cantidad de energía para la producción por unidad de área cultivada (Mäser y Astier. 1996). Tanto la degradación del suelo como los altos costos han contribuido a motivar la búsqueda de métodos alternativos de labranza con mayor eficiencia en el uso de energía y productividad.

Un uso excesivo de maquinaria para la preparación del suelo se relaciona con una mayor compactación del suelo y la tasa de oxidación de la materia orgánica (Franzluebbers, A., 1996). Una reducción en la intensidad de labranza del suelo puede disminuir las pérdidas de humedad del suelo y la cantidad de terrones (<2 mm), lo que reduce la formación de costras en la superficie del suelo y la erosión del suelo (Šarauskis, 2009). Las pérdidas de suelo y nutrientes se pueden reducir utilizando la labranza de conservación, pero bajo una disponibilidad limitada y un alto costo de oportunidad de los residuos de cultivos, la labranza reducida puede ser una alternativa para tener rendimientos de cultivos en el maíz (Atreya, 2008).

Una de las medidas más urgentes a tomar en tal sentido es el manejo adecuado del suelo, como la base de la producción agropecuaria. En la actualidad los científicos le confieren incluso al suelo categorías que reflejan su salud, como la de cualquier ser vivo (Henao y Baanante, 2006). Muchos años atrás, el científico francés Francis Chabousou (1984) sostuvo la teoría de la trofobiosis, basada en que “en un suelo sano crecen plantas sanas y las plagas mueren de hambre”. Un suelo equilibrado, con una estructura adecuada constituye un elemento indispensable para lograr una producción agropecuaria sustentable.



La reducción de la intensidad de labranza es una práctica de manejo que potencialmente puede reducir los impactos ambientales y mejorar productos agrícolas (es decir, proporcionando una intensificación sostenible. (Buckwell et al., 2014).

El deterioro de los suelos se manifiesta en la reducción de las cantidades de humus y de nutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos, así como en cambios estructurales de los suelos. Estas modificaciones se asocian con los deterioros que causan las descargas elevadas sobre el suelo expuesto a la interacción del agua y el viento. (Pimentel, 2006), la acción de la quema y las prácticas de labranzas inadecuadas cuando además son suelos con pendientes elevadas (López, 2009)

En el estado de Oaxaca, se cultiva maíz en el 70% de la superficie agrícola, bajo el sistema de roturación. En el 76% de esta superficie, la roturación del suelo se realiza con yuntas y el resto con tractor, en tanto que las labores de siembra y escarda se llevan a cabo en su totalidad con animales. Las especies empleadas son exclusivamente vacunos (Romero et al., 1986).

Numerosos estudios se han realizado para cuantificar el consumo de energía en sistemas agrícolas, tanto en zonas templada (Pimentel et al.; 1983; Zentner et al., 1989; Risoud y Chopined, 1999) como en el trópico (Ulh et al., 1981; Hall et al.K, 1993) a nivel mundial. Algunos estudian el balance energético y la capacidad de producción de proteína-energía, y la factibilidad económica de diferentes sistemas de producción de maíz (Guevara-Hernández et al., 2015)

Estudios detallados demuestran los ahorros en energía que se pueden lograr cuando se sustituyen insumos convencionales (altos en energía indirecta) por insumos orgánicos o prácticas culturales (Lockeretz, 1984; Karlen et al., 1995; Languë y Khelifi, 2001); otros estudios integran los análisis de energía, mano de obra y rentabilidad financiera en sistemas de producción convencionales y alternativos (Karlen et al., 1995) y otros evaluaron la posibilidad de adoptar prácticas de labranzas con intensidad moderada o casi nula donde sean aprovechadas racionalmente los insumos energéticos, optando por la no

labranza (Bertocco, et al., 2008), y otros demuestran como la reducción de la intensidad de labranza ofrece la posibilidad de avanzar hacia una intensificación sostenible (Townsend, 2016)

La agricultura requiere de dos fuentes de energía cultural: la energía (energía humana, animal, bioabonos u otras de origen biológico) y la energía industrial (combustibles, maquinaria, electricidad, etc.). El aspecto clave de los sistemas de producción está en cómo utilizar de una manera más eficiente la energía cultural para la conversión de la energía ecológica (solar) en biomasa (Gliessman, 2000). De esta manera podemos afirmar que la agricultura puede producir en forma de biomasa mucha de la energía que consume (Guzmán, 2008). Sin embargo, actualmente, la productividad y la rentabilidad de la agricultura dependen en alto grado del consumo de energía proveniente de fuentes no renovables (Tabalabacefar, et al., 2009), considerando además la optimización en la aplicación de fertilizantes ya que estos representan del 24-43% del total de insumos energéticos. Así como la labranza que ha demostrado ser la mayor consumidora de energía. (Koga, 2008)

Es sabido que el uso de fertilizantes y herbicidas, aunado a las variedades e híbridos incrementan los rendimientos de los agrosistemas (Bonel et al., 2005); sin embargo, se requiere estimar el balance energético, la capacidad de producción de proteína-energía y la factibilidad económica de los sistemas. (Guevara-Hernández, 2015)

Comprender los flujos y balances de energía es un elemento básico para lograr la sostenibilidad energética, importante tanto por razones económicas como ecológicas y sociales. El conocimiento y la cuantificación de la eficiencia energética de los sistemas de producción de alimentos deberían constituirse en una herramienta fundamental para el diseño de mejores estrategias de manejo agrícola y toma de decisiones. Por ello resulta prioritario incorporar los elementos metodológicos necesarios con el objetivo de diseñar sistemas sustentables para la producción de alimentos y energía. Este paso constituirá un elemento decisivo para un uso más eficiente de las fuentes energéticas disponibles, tanto biológicas como industriales. (Funes-Monzote, 2009)

## 5. REVISION DE LA LITERATURA

### 5.1 Teorías sobre la preparación del suelo

La forma de preparar el terreno está determinada por concepciones que son una mezcla de técnicas con fundamentos científicos, empíricos y creencias. Sin embargo, hay estudiosos que han formulado teorías desde que la agricultura comenzó a practicarse con rigor técnico y son las siguientes:

#### *Teoría Romana*

Surge en el siglo XVIII y fue sustentada por el inglés Tull, que la formuló al vivir las experiencias en sus continuos viajes por el sur de Europa, donde él vio como las plantas cultivadas entre líneas se desarrollaban más vigorosas. De esas observaciones salió la teoría, de que las plantas se alimentaban de pequeñas partículas de tierra, que tomaban a través de sus raíces, por lo que en la medida que el suelo estuviese más finamente dividido, mejor era el desarrollo de las plantas. Esta pulverización debía ser en toda la capa arable y se lograba con él sobre laboreo del suelo.

Esta teoría adolece de grandes inconvenientes, como el de favorecer en gran medida la erosión hídrica y eólica debido al tamaño en que quedan las partículas; además esto causa la rápida compactación del suelo y la aireación es baja, lo que es debido a que con la pulverización en forma sistemática se afecta la estructura granular del suelo.

#### *Teoría clásica latina*

Posteriormente, en el siglo XIX, cuando se propone por Von Liebig la nutrición mineral de las plantas, surge una segunda teoría, la clásica latina. Esta plantea que sólo es necesario mullir la capa superficial del suelo para lograr un buen desarrollo de las plantas, por lo que no es necesaria su pulverización, y es desechada la teoría romana. En la aplicación de esta segunda teoría no se plantea el sobre laboreo, sin embargo se presentan en general inconvenientes, bien por el uso abusivo de ciertos aperos o a veces por realizar labores innecesarias en el proceso de preparación del suelo, el cual queda más pulverizado de lo

necesario, pero esta teoría es superior a la anterior, y es la que más se usa en los procesos de preparación del suelo.

### ***Teoría de la sistematización del suelo***

Con la evolución de las ciencias, sobre todo la del suelo y agroquímica, se ha podido comprobar, por un lado, que la estructura granular del suelo en su expresión de un buen estado migajoso, es la forma en la cual los suelos tienen un mayor potencial productivo y además el uso de la reja afecta esta estructura granular y esto en grado significativo, cuando se emplea la reja en exceso.

Por lo arriba expuesto ha habido preocupación constante, por un lado en que los suelos al ser preparados queden mullidos pero no pulverizados, de ahí que ha habido inclinación al uso del escarificador como elemento mullidor que, como es bien sabido, además de tender a pulverizar menos que la rastra, también las partículas finas del suelo no quedan expuestas en la superficie del mismo a la acción del aire y de la fuerza erosiva del agua. De todas estas preocupaciones, surgió como exponente principal la teoría de la sistematización del suelo que presenta como aspecto fundamental el que el suelo al quedar preparado, los aspectos hídricos y mecánicos del mismo quedan óptimamente extendidos, por la ubicación de las partículas finas, con la mejor penetración del agua a través de la capa arada del suelo y con el mejor drenaje del exceso de agua en esta capa.

### ***Teoría del laboreo mínimo***

Por razones económicas y por tener fundamentos científicos, la teoría de darle al suelo el laboreo mínimo ha ido ganando en claridad y considerando en mayor ocasiones su uso. Esta teoría dice que el uso excesivo del arado daña el potencial productivo del suelo porque lo pulveriza, lleva a la superficie capas estériles para las plantas, reseca el terreno debido a la multitud de grietas y facilita la erosión por arrastre de partículas por el viento y el agua. En cambio, el laboreo mínimo se basa en la idea de sólo realizar las operaciones estrictamente necesarias para fracturar el terreno para que penetre el aire y agua necesarios para la planta. Pero no se pulveriza el terreno con la aradura excesiva, ni se voltea y se lleva al fondo la capa fértil del suelo. Así no se daña el potencial productivo del suelo,

sólo se mejora la aireación almacenamiento de agua lo suficiente para que de excelentes cosechas.

Estas tecnologías han sido modificadas por diferentes autores, los cuales han definido más o menos operaciones de labranza (Gonzales, 2008).

## **5.2 Labranza de suelos y su repercusión medioambiental**

Algunos autores han identificado los beneficios ambientales de reducir la intensidad de la labranza en términos de: reducción de la erosión del suelo, escurrimiento de pesticidas, lixiviación de nitratos y sedimentación en las corrientes de agua; calidad mejorada del suelo y emisiones de gases en invernaderos más pequeños (Fawcett y Towery, 2002; Holland, 2004; Morris et al., 2010). Otros beneficios incluyen reducir costos por combustible, mejora en la calidad de la preparación de campo, menos entrada de maquinaria requerida y menores gastos de maquinaria a través de un menor desgaste (Baker et al., 2007; SoCo Equipo del proyecto, 2009)

Según Verhulst et al. (2015) en suelos con cero labranza y retención de residuos mejora la distribución de agregados secos en comparación con la labranza convencional. El efecto de la cero labranza sobre la estabilidad del agua es más pronunciado, con un mayor diámetro medio ponderado para el tamizado en húmedo registrado para una amplia variedad de suelos y condiciones agroecológicas. En los casos en los que labranza convencional da como resultado buena distribución estructural, los componentes estructurales siguen siendo más débiles para resistir la desagregación inducida por humedecimiento rápido que en los suelos con cero labranza con retención de residuos del cultivo. Por lo tanto, los suelos de los cultivos con cero labranza con retención de residuos se vuelven más estables y menos susceptibles al deterioro estructural, mientras que los suelos cultivados con labranza son propensos a la erosión

Investigaciones recientes para la siembra de la papa en Bolivia demostraron que la labranza permite conservar más agua en el suelo respecto de un suelo sin labranza, debido

a que ésta logra romper los microporos de la capa arable, actuando así como una capa aislante que impide los cambios bruscos de temperatura que ocasionan las pérdidas de humedad de las capas inferiores. (Mamani, P., 2001)

### **5.3 Métodos para la determinación de los parámetros técnicos que determinan la magnitud de la fuerza de tiro**

De acuerdo a los planteamientos de Gill y Van den Berg (1968), los parámetros técnicos más importante que determinan la magnitud de la fuerza de tiro y la calidad del trabajo del laboreo de un apero son la masa, ancho de trabajo, geometría de la herramienta de labranza, velocidad de trabajo, y material que estarán condicionados a las exigencias agrotécnicas, cultivo y tipo de suelo, y cuyos valores óptimos se deben obtener mediante experimentos. De acuerdo a la norma ASAE EP496. 3 Feb 2006, el tiro  $D$  se calcula mediante la ecuación (Ec. 6) (ASAE, 2006).

$$D = R_{sc} + MR \quad (6)$$

Donde:

$D$  - tiro del apero, N

$R_{sc}$  - resistencia del suelo y el cultivo, N

$MR$  - resistencia total al movimiento del apero, N

En esa misma norma se propone el cálculo de la eficiencia real en campo del apero  $C_a$  (Ec. 7).

$$C_a = \frac{s \cdot w \cdot E_f}{10} \quad (7)$$

Donde:

$C_a$  - eficiencia real, ha/h

$s$  - velocidad de trabajo, km/h

$w$  - ancho de trabajo del apero

$E_f$  - eficiencia de campo, decimal

#### **5.4 Fundamentación Teórica para el cálculo del consumo energético. Indicadores energéticos en los sistemas agrícolas**

Los métodos más conocidos de medición de la energía en los sistemas agrícolas son: 1- eficiencia energética, que es la relación entre las unidades energéticas producidas y la energía invertida en los insumos; 2- productividad energética, la cual relaciona la cantidad de producto obtenido y la energía invertida en el proceso de producción (Fluck y Baird, 1980; Fluck, 1995); y 3- rentabilidad energética, que es la relación entre los ingresos generados y las unidades de energía invertida (Szott, 1998). En los sistemas agrícolas, estos métodos son complementarios a los análisis beneficio/costo y ofrecen otra visión de la eficiencia de los sistemas de producción que va más allá de los aspectos meramente financieros.

Según Guevara-Hernández et al (2015) el método de análisis descrito por Meul et al. (2007), que considera los ingresos de energía al sistema, flujos de materia física e insumos utilizados para la producción. Con base en la metodología de (Funes, 2009) se pudo calcular la eficiencia energética en el cultivo del maíz, mediante las variables: área del sistema productivo, tipo y cantidad de alimentos o productos obtenidos y gastos energéticos directos o indirectos de la producción, que incluye fuerza de trabajo humano y animal, empleo de combustibles y fertilizantes, entre otros insumos. Así como los criterios expuestos por (Márquez et al., 2011) que consideran la energía directa e indirecta que se utiliza en la producción.

En la producción de alimentos se emplean dos fuentes fundamentales de energía cultural: la energía biológica (energía humana, animal, bioabonos u otras de origen biológico) y la energía industrial (combustibles, maquinaria, electricidad, etc.). El aspecto clave de los sistemas de producción está en cómo utilizar de una manera más eficiente la energía cultural para la conversión de la energía ecológica (solar) en biomasa (Gliessman, 2006). De esta manera podemos afirmar que la agricultura tiene la capacidad de producir en

forma de biomasa mucha de la energía que consume (Guzmán, 2008). Sin embargo, actualmente, la productividad y la rentabilidad de la agricultura dependen en alto grado del consumo de energía proveniente de fuentes no renovables (Tabalabacefar, et al.,2009), considerando además la optimización en la aplicación de fertilizantes ya que estos representan del 24-43% del total de insumos energéticos. Así como la labranza que ha demostrado ser la mayor consumidora de energía (Koga, 2008).

El balance energético estuvo determinado por las siguientes variables, dependiendo de la fuente de tracción con que se ejecuten las operaciones: Energía suministrada, energía humana (energía gastada por el operador), energía gastada de los materiales en el proceso, energía gastada en los mantenimientos y reparaciones, energía gastada en los filtros y lubricantes, energía eléctrica, las cuales pueden relacionarse apropiadamente mediante la ecuación desarrollada por González (2008), así como lo expresado por De las Cuevas, *et al.* (2004), los cuales utilizan la metodología para establecer los gastos energéticos de ejecución de la operación presentada por Hetz y Barrios (1997) y apoyada por los antecedentes presentados por ASAE (1993) y Fluck (1992). Utilizando MJ ha<sup>-1</sup> como unidad de medida para estos parámetros Ec. 8

$$EST = ESm + ESc + ESl + ESin + ESmr + ESmo + ESel \quad (8)$$

Donde:

*EST* : Gastos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada, MJ/ha;

*ESm* : Energía invertida en los materiales, fabricación y transporte, MJ/ha;

*ESc* : Energía invertida en combustible, MJ/ha;

*ESl* : Energía invertida en lubricantes, MJ/ha;

*ESin* : Energía invertida en semillas, fertilizantes y pesticidas, MJ/ha;

*ESmr* : Energía invertida en reparaciones/mantenimiento en MJ/ha, se calcula según lo propuesto por Fluck (1985) y calculado por Hetz y Barrios (1997), citados por De las



Cuevas, et al. (2004), como el 129% de la energía invertida en los materiales, fabricación y transporte de la maquinaria.

$ESmo$  : Energía invertida en mano de obra, en MJ/ha, Hernanz (2008) y Tabatabaeefar et al. (2009)

La energía correspondiente al combustible utilizado (MJ/ha), se calculó, según la ecuación (Ec. 9):

$$ESc = \frac{\left[ \sum_{l=1}^{l=n} G_h \cdot E_e \right]}{Wh} \quad (9)$$

$G_h$  : Consumo horario de combustible (L/h)

$E_e$  : Energía específica del combustible (MJ/L)

La energía correspondiente a semillas, fertilizantes y pesticidas (MJ/ha), se determinó (Ec. 10).

$$ESin = N_{sem} \cdot Eq_{sem} + \sum_{n=1}^{n=s} \frac{Fer \cdot Fer_{eqv}}{Ap} + \sum_{n=1}^{n=s} Pes \cdot P_{eqv} \quad (10)$$

Donde

$N_{sem}$  : Cantidad de semillas plantadas (kg/ha)

$Eq_{sem}$  : Energía equivalente de la producción de las semillas (MJ/kg)

$Fer$  : Cantidad de fertilizante aplicado

$Fer_{eqv}$  : Energía equivalente en la producción del fertilizante (MJ/kg)

$Pes$  : Proporción aplicada de las n pesticidas (kg/ha o L/ha)

$P_{eqv}$  : Energía equivalente de las n pesticidas (MJ/kg o MJ/L)

## **5.5. Influencia de los indicadores edáficos en las propiedades físicas de los suelos**

La evaluación de las propiedades edáficas que resulten más sensibles a los efectos del manejo permite, respecto a otras propiedades, anticipar el sentido de los cambios ocurridos en los suelos (degradación, conservación y recuperación). La magnitud y oportunidad de estos cambios resultan frecuentemente dependientes de la condición inicial de los suelos, de los efectos de distintos sistemas de labranza y secuencia de cultivos sobre los contenidos de materia orgánica y propiedades físicas de los suelos más estrechamente relacionadas con la productividad de los cultivos (Quiroga et al., 1998).

Las posibilidades de producir efectos físicos favorables en el suelo estarían estrechamente relacionadas a la condición de degradación inicial. Varsa et al. (1997) trabajando en Hapludalf, franco limoso, comprobaron que la compactación superficial limitó el desarrollo de las raíces y que en estas condiciones el incremento de la profundidad de la labranza tuvo un mayor efecto sobre la producción de Maíz. La presencia de capas superficiales que limitan la penetración y distribución de raíces limitaron en mayor grado los rendimientos de maíz bajo labranza reducida que en labranza convencional. (Meterechera y Mloza-Banda, 1997).

### *Materia orgánica*

La materia orgánica (MO) constituye un componente clave en el suelo al afectar sus propiedades químicas, físicas y biológicas, siendo además un prerequisite para la obtención de cultivos con niveles de producción elevada y estables (Allison, 1965). Reeves (1997) al analizar el rol que cumple de MO en la funcionalidad de los suelos señala que el carbono orgánico (CO) es el atributo mayormente estudiado en ensayos de larga duración como indicador de la calidad de los suelos y de sustentabilidad de los mismos. Algunos estudios donde se han evaluado indicadores físicos del suelo bajo diferentes sistemas de labranza han demostrado que la materia orgánica y la conductividad hidráulica saturada, son los indicadores del suelo que definen el rendimiento de cultivos como maíz, haba y frijol bajo un sistema de labranza de conservación. (Navarro, 2008).

## **5.6 Indicadores Agroecológicos y de sostenibilidad**

En un sistema de manejo sustentable, la interpretación se mide en los cambios adquiridos por los indicadores de calidad del suelo en el tiempo (Larson y Pierce, 1991).

En cuanto a los indicadores agroecológicos pueden estar relacionados a varios factores edafoclimáticos y ecológicos que al ser monitoreados y evaluados establecen relaciones de causa y efecto. Estos muestran los posibles impactos de los diferentes modelos de producción sobre los ecosistemas y consecuentemente las tendencias a sostenibilidad de los mismos (Lewis, 1995).

Algunos ejemplos de sostenibilidad ecológica son la producción de biomasa, la dinámica de los residuos, el reciclaje de nutrientes (Funes- Monzote, 2009), eficiencia energética, nivel de erosión del suelo (Bertocco, 2008; Altieri et al., 2002), nivel de contaminación de suelo y agua, uso de agrotóxicos, incidencia de plagas y enfermedades, regeneración de especies entre otros (Masera et al., 1996).

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1 Diagnóstico agroecológico de las fincas en estudio**

#### *Caracterización de los sitios de estudio*

La investigación se desarrolló en el estado de Oaxaca en dos distritos de los Valles Centrales, Zaachila y ETLA, (Figura 1), en el período comprendido de junio del 2007 a diciembre del 2010. Se seleccionaron seis sitios experimentales con agricultores cooperantes, los cuales fueron sembrados utilizando su tecnología tradicional; la variedad empleada para todos los sitios fue la “Criollo Bolita” de grano blanco en sistemas de monocultivos o asociados con frijoles *Phaseolus vulgaris* and calabaza *Cucurbita pepo*.



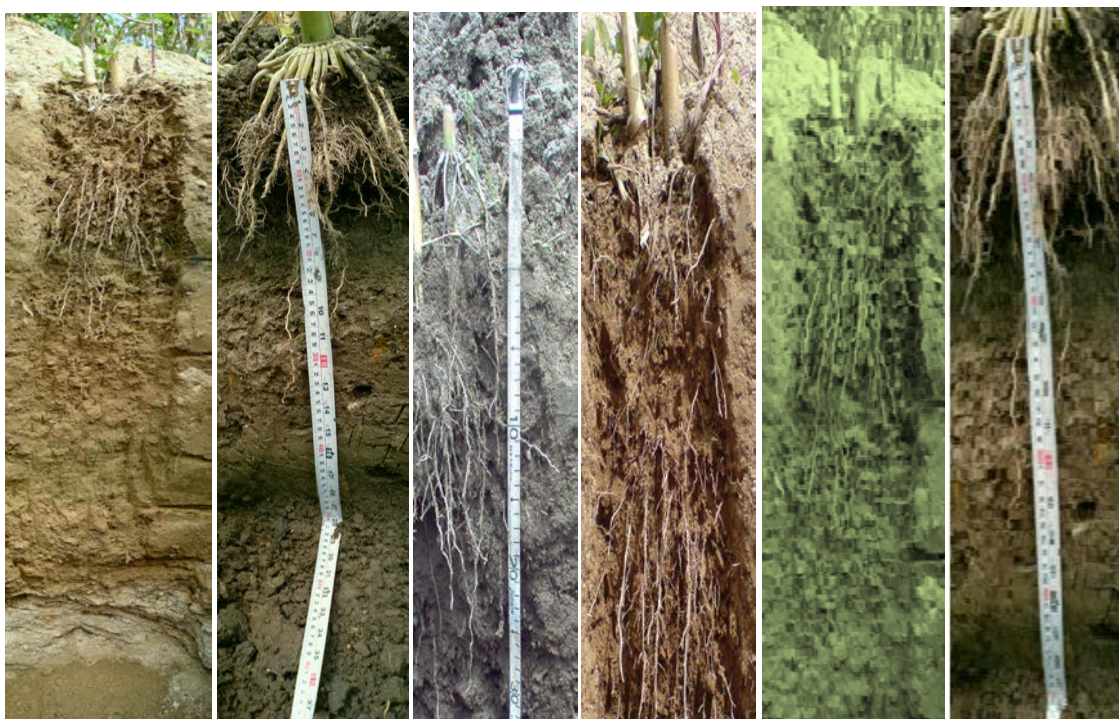
**Figura 1.** Distribución de los sitios por localidad.

En el Cuadro 1 se describen las características geográficas de los sitios de estudio.

**Cuadro 1.** Características geográficas de los sitios experimentales.

No. de sitio y nombre	Latitud	Longitud	Altitud
1, “La Loma”	17° 09’ 11”	96° 44’ 49”	1718
2, “El Corral”	17° 09’ 18”	96° 45’ 41”	1714
3, “La Barranca”	17° 10’ 42”	96° 48’ 17”	1606
4, “El Río”	17° 10’ 44”	96° 48’ 46”	1600
5, “Rancho Quemado”	17° 09’ 11”	96° 44’ 49”	1718
6, “El Horno”	17° 00’ 22”	96° 47’ 35”	1599

Se caracterizaron los sitios fisiográficamente y se determinó su clasificación pedogenética (FAO, 1998) por medio de la apertura y descripción de perfiles de suelo (Figura 2) en cada localidad (Cuadro 2).



**Figura 2.** Apertura y descripción de perfiles de suelo de los 6 sitios de estudio.

**Cuadro 2. Características fisiográficas, pendiente y unidad de suelos de los sitios experimentales.**

No. de sitio y nombre	Distrito	Unidad de suelos (FAO, 1998)	Fisiografía	Pendiente (%)
1, "La Loma"	Etla	Cambisol	Lomerío	10
2, "El Corral"	Etla	Cambisol	Lomerío	15
3, "La Barranca"	Etla	Fluvisol	Planicie	<1
4, "El Río"	Etla	Fluvisol	Planicie	<1
5, "Rancho Quemado"	Zaachila	Fluvisol	Planicie	<1
6, "El Horno"	Etla	Feozem	Planicie	<1

El clima predominante en las localidades de estudio (Etla y Zaachila) es del tipo semiseco-semicálido (BS1h), con lluvias promedio de 635.9 mm concentradas en verano, con una temperatura promedio anual de 20.2 °C. De mayo a octubre, la temperatura

mínima promedio mensual es de 12.3 – 13.7 °C y la máxima promedio es de 24.6 -29.8 °C (INEGI, 2017)

## **6.2. Caracterización de los sistemas de labranza**

Para recabar información sobre los sistemas de labranza utilizados, tipo de tracción empleada, tecnología tradicional y costo de las operaciones tecnológicas, se aplicó la metodología propuesta por Funes-Monzote (2009); primero se aplicaron encuestas (Anexos I y II) preliminares a 20 campesinos en las localidades de Cuilapam de Guerrero y Guadalupe Etla, y posteriormente se aplicaron 40 encuestas estructuradas a igual número de campesinos seleccionados al azar por localidad.

### *Caracterización de los animales empleados en la investigación*

Por medio del método de observación directa se tomaron las características generales de las razas de animales utilizados durante la investigación, cuando se usaron como fuente de tracción.

En estas zonas generalmente se utilizaron animales de tiro de la raza Cebú, Holstein-Cebú y Suiza parda (Figura 3), bajo este nombre están agrupadas un conjunto de razas y variedades de ganado vacuno provenientes de la india, y esta última en suiza, en el condado de Schwyz y que han sufrido cruzamientos constantes en forma no controlada que provoca que muchas características sean muy variadas.

Las características principales de la raza cebú, una de las más comunes son: giba en la cruz, cabeza alargada y estrecha. Orejas largas y pendientes. Cuernos medianos alargados y fuertes. Son animales adaptados a los climas tropicales, con piel gruesa y de color oscuro que los hace más resistentes al calor. Incluso esta raza tiene gran desarrollo en la piel, con lo que aumenta su área de disipación de calor.



**Figura 3.** Características de los animales usados en el estudio.

### *Caracterización de las operaciones de labranza*

Se compararon tres sistemas de laboreo de suelo sin riego: labranza con tracción animal (LTA), labranza mixta (LMx) y labranza mecanizada (LM); en LTA el medio de tracción es la yunta de bueyes con 6 operaciones de labranza, para LMx se utiliza el tractor para el barbecho y la yunta para el resto de operaciones, mientras que en LM todas las operaciones se realizan con maquinaria (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Operaciones tecnológicas por sistema de labranza**

Sistema de labranza*	Número del sitio y localidad	Operaciones Tecnológicas	Fuente de tracción e implementos
LTA	1, San Pablo, Etna 5, Cuilapam, Zaachila	Roturación, 1ra raya, 2da raya, surcado, deshierbe, orejera	Bueyes + arado de palo
LMx	2, San Gabriel, Etna 4, Guadalupe, Etna	Roturación, cruce, recruce, 1ra raya, 2da raya, surcado, deshierbe	Tractor New Holland 6610+yunta
LM	3, Guadalupe, Etna 6, San Juan de Dios, Etna	Roturación, cruce, recruce, 1ra grada, 2da grada, surcado, deshierbe, cosecha mecanizada	Tractor New Holland 6610+grada mediana surcador, cosechadora de forraje

\* LTA: labranza con tracción animal, LMx: Labranza Mixta, LM: Labranza Mecanizada

### 6.3 Muestreos de suelos

Los muestreos se realizaron en parcelas comerciales de 0.5 ha con maíz (*Zea mays*) en monocultivo, para cada sitio de estudio donde se implementaron los sistemas LMx y LM o asociadas con frijol (*Phaseolus vulgaris*) y calabaza (*Cucurbita pepo*).

En los sitios donde se implementó el sistema LTA estuvo plantado una parcela con maíz asociado con "judías de Ayocote" (*Phaseolus coccineus*).

Antes de plantar, se recogieron muestras de suelo en cada sitio a profundidades de 0-20 y 20-40 cm en un patrón de cinco de oro. Estos se mezclaron en una cubeta y se tomaron dos submuestras de aproximadamente 2 kg para analizar la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la densidad aparente, la estabilidad del agregado y el contenido de nutrientes principales.

El carbono orgánico del suelo (SC) se determinó siguiendo el procedimiento de Bray P1 modificado (Bray y Kurtz 1945). El carbono orgánico del suelo (SC) se determinó usando el método de oxidación húmeda Walkley-Black (Nelson y Sommers 1996) y el porcentaje de materia orgánica se estimó como  $SC \times 1.724$ .

Los agregados estables en agua (AEA) se midieron usando el método modificado de un solo tamiz (Kemper y Rosenau 1986).

Durante la temporada de crecimiento, se recopilaron datos sobre el crecimiento de los cultivos y las precipitaciones. Usando el sistema para el maíz de Ritchie et al. (1992), el desarrollo de la planta y las alturas se midieron en 10 plantas por parcela cada 15 días. También se registraron las evaluaciones visuales de la apariencia del cultivo y la marchitez.

Cuando el maíz estaba en las etapas reproductivas, se utilizaron indicadores de la calidad del suelo y la salud de las plantas (Altieri y Nicholls, 2002) para caracterizar cada parcela.



Para incluir criterios adicionales para evaluar la sostenibilidad, también propusimos y evaluamos varios indicadores socioeconómicos.

Cuando los cultivos alcanzaron la madurez, estimamos la producción de materia seca (MS) de maíz, cultivos intercalados y malezas en cuatro réplicas por sitio, cada réplica tiene un área de 6 m<sup>2</sup>. Se determinaron los pesos frescos totales y se tomaron muestras para la determinación de la humedad y se colocaron a secar durante 48 horas en un horno a 70 ° C.

#### **6.4. Caracterización del hábitat y alimentación de los animales empleados en la investigación**

En el distrito de Zaachila los animales no tenían un lugar establecido para pastar, ni donde dormir, todo el tiempo estaban a la intemperie. En los sitios ubicados en el distrito de Etna, los animales tenían su techo y eran guardados al terminar la jornada de trabajo diaria. Lo cual coincide con investigaciones anteriores, (FAO, 2018), donde generalmente las instalaciones para los animales de tiro, cuando existen, son muy austeras y sus características dependen de las comunidades; así, en las regiones templadas y frías donde se emplean équidos, son frecuentes los comederos y pesebres. En las comunidades que disponen de potreros comunales, los vacunos pacen libremente; no existen instalaciones para albergar a los animales, y éstos se valen de los árboles de los patios de las casas para resguardarse del sol.

Los animales fueron alimentados diariamente con 20 Kg. de Sorgo más 1 Kg. de Maíz, alfalfa, en ocasiones calabaza, acahual y 3 cucharadas de sal común en agua, el sistema de pastoreo utilizado fue pastoreo extensivo. Donde los animales pastaban libremente cuando la temporada lo permitía

## **6.5. Valores energéticos de los insumos**

Se obtuvieron valores de los insumos energéticos en los 6 sitios, durante la etapa de labranza del suelo. En los sitio donde se implementó el sistema de labranza mecanizada (LTA), los insumos energéticos se agruparon en 1) uso indirecto, donde se incluyó la mano de obra, tamaño del equipo y horas de trabajo de la maquinaria, y amortización y depreciación del equipo y 2) uso directo, que incluía el combustible, lubricantes y fertilizantes aplicados.

Cuando la fuente de tracción era un animal de tiro, se midió la fuerza de tracción de los equipos de bueyes en cada sitio experimental utilizando la celda de carga LCCA-750 acoplada al arado de madera. Por lo tanto, en los sistemas LMx y LTA, los valores de resistencia a la tracción para arar, surcar y escardar se midieron en las filas centrales de cada parcela, usando cuatro repeticiones por sitio experimental. La equivalencia de energía de otros insumos se obtuvo de la literatura (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Equivalencia energética de distintos insumos utilizados para la producción agrícola.**

Insumos y unidades	Equivalencias (MJ por unidad)	Fuente
Trabajo Animal (h)	5.9	García-Trujillo, R. (1996)
Hombre (h) Operador de tractor	1.05	Hernanz (2008)
Trabajo manual	1.95	Tabatabaeefar, et al. (2009)
Diesel (L)	40	Hernanz (2008); Meul, et al. (2007)
Nitrógeno (kg)	55.4	García-Trujillo, R. (1996)
Insecticida (kg)	77.2	Guzmán y Alonso (2008)
Herbicida (kg)	214	Meul, et al. (2007)
Fungicida (kg)	99	Kaltsas, et al. (2007)
Fertilizante orgánico (kg)	0.3	García-Trujillo, R. (1996)
Maíz (kg)	16.2	Pordesimo (2005)
Electricidad (kW h)	5.65	Meul, et al. (2007)
Arado (Kg)	22.3	Tsatsarelis (1991)
Grada ( kg)	42.8	Pimentel, et al. (1973)

En los sistemas LMx y LTA, se tomaron los valores de fuerza de tracción para roturación, raya o cruce y deshierbe en los tres surcos centrales, realizando cuatro repeticiones por parcela experimental. Las mediciones se realizaron por medio de la celda de carga LCCA-750, la cual se acopló al arado de palo (Figura 4 y 5).



**Figura 4.** Celda de carga acoplada al arado de palo.

En el Cuadro 5 se presentan las especificaciones técnicas de la celda de carga.

**Cuadro 5. Especificaciones técnicas de la celda de carga LCCA-750.**

Marca	Omega
Modelo	Serie LCCA-750
Salida Nominal	3mV / 0.0075 mV $\pm$ V / V
Excitación	10 Vcc (máximo de 15 Vcc)
Precisión	0.037% de escala completa
Temperatura de funcionamiento	0 a 65.5 ° C
Resistencia del puente	350 $\Omega$ nominales
Construcción	Acero al carbono chapado en níquel



**Figura 5.** Medición de la fuerza de tracción de los animales de tiro, con celda de carga LCCA-750.

Los valores obtenidos de la celda de carga fueron convertidos a valores de fuerza (F) a través de la ecuación (Ec.1).

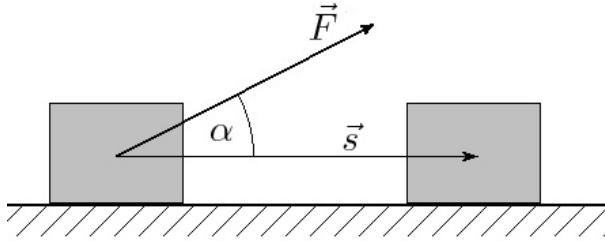
$$F = -7.96502 + 88.8578 \times SL \quad (1)$$

donde, SL= salida nominal de corriente eléctrica.

Con los valores de fuerza obtenidos se determinó la potencia y el trabajo realizado por los animales, así como la energía gastada en cada caso a partir de las ecuaciones Ec. (2 y 3).

$$T = F \times m \times \cos \alpha \quad (2)$$

donde,  $T$  = trabajo,  $F$  = fuerza obtenida por celda carga, y  $m$  = distancia recorrida en metros (m).  $\alpha$  = ángulo que forman entre sí el vector fuerza y el vector desplazamiento (Figura 6).



**Figura 6.** Fuerza en Función del ángulo de desplazamiento.

$$W = \frac{T}{t} \text{ J} \quad (3)$$

donde,  $T$  = Trabajo,  $t$  = tiempo que dura el trabajo expresado en segundos (s).

En sistema de LM se determinó el consumo de combustible por ha por el método del tanque lleno según la NC-ISO 789-7 (2007). Al finalizar de la labor se completó el tanque y se comprobó la cantidad de combustible gastado.

La energía correspondiente al combustible utilizado se calculó con el estándar propuesto por ASAE (1993), según la ecuación (Ec.4).

$$EC = CE \times P_{(atf)} \times NC \times E_E \quad (4)$$

donde,  $EC$  = energía correspondiente al combustible ( $\text{MJ h}^{-1}$ ),  $CE$  = consumo específico de combustible, ( $\text{L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ),  $P_{(atf)}$  = potencia al eje toma de fuerza ( $\text{kW}$ ),  $NC$  = nivel de carga del motor (0.1 a 0.4 faenas livianas, 0.4 a 0.7 faenas moderadas, 0.7 a 1.0 faenas pesadas),  $E_E$  = energía específica del combustible ( $\text{MJ l}^{-1}$ ).

Se determinó la energía humana ( $EB$ )  $\text{MJ ha}^{-1}$  utilizada, auxiliándonos de la ecuación Ec.5 (Tabatabaeefar, 2009).

$$EB = l \times h \times E_e \quad (5)$$

donde,  $l$  = distancia recorrida,  $h$  = horas de trabajo,  $E_e$  = energía equivalente: Energía requerida en el transporte es generalmente expresada como la intensidad de la energía o sea la energía por unidad de peso y por unidad de distancia recorrida ( $\text{MJ t}^{-1} \text{ km}^{-1}$ ).

Los consumos de energía de entradas al sistema se determinaron mediante la ecuación desarrollada por González (2008) (Ec. 6).

$$E_s = E_{sfw} + E_{sc} + E_{smat} + E_{smr} + E_{sfl} \quad (6)$$

donde,  $E_s$ = energía suministrada ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ),  $E_{sfw}$ = energía gastada por el operador ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ),  $E_{sc}$ = energía del combustible consumido ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ),  $E_{smat}$ = energía gastada de los materiales en el proceso ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ),  $E_{smr}$ = energía gastada en los mantenimientos y reparaciones ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ),  $E_{sfl}$ = energía gastada en los filtros y lubricantes,  $\text{MJ ha}^{-1}$ .

## 6.6. Eficiencia energética

La eficiencia energética se calculó considerando la energía requerida para la labranza como energía de entrada al sistema y los rendimientos del cultivo obtenidos como energía de salida del sistema, aplicando la ecuación Ec. 7:

$$EEL = E_{rL} \times E_{RT}^{-1} \quad (7)$$

donde, EEL= Eficiencia energética de la labranza ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ).

$E_{rL}$ = Energía requerida para la labranza ( $\text{MJ ha}^{-1}$ ).

$E_{RT}$ = Energía contenida en el grano, rastrojo y/o malezas ( $\text{MJ ha}^{-1}$ )

## 6.7. Análisis estadístico

Se establecieron los experimentos en un diseño de bloques aleatorizados con cuatro repeticiones y las variables de respuesta, materia seca, altura de planta y tasas de crecimiento de cultivos fueron sometidos a un análisis normalidad y homogeneidad de varianzas para el análisis de varianza y la prueba de Tukey para comparación de medias (SAS Institute 2002).

## 6.8. Indicadores Agroecológicos y de sostenibilidad

Durante las etapas reproductivas del cultivo (maíz) se evaluaron los indicadores de la calidad del suelo y la salud de las plantas (Altieri y Nicholls, 2002) los cuales se utilizaron para caracterizar cada parcela con un aspecto socio-económico. Además, para incluir criterios adicionales y para evaluar la sostenibilidad.

Los criterios principales que se tuvieron en cuenta para cada indicador se describen a continuación

### *Calidad del suelo*

Compactación y densidad aparente. La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa o peso del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso Ec. 8. En agricultura, la masa del suelo se refiere al peso después de secar el suelo en estufa a 110° C durante 24 h o hasta peso constante y, el volumen, se refiere a la fábrica menor de 2 mm de diámetro.

$$pb = \frac{Ms}{Vt} \quad (8)$$

Esta medida permitió ver la facilidad de penetración de las raíces al suelo, la predicción de la transmisión de agua, la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y, consecuentemente se pudo calcular la lámina de agua en el suelo. Además, así como la porosidad total del suelo, y se estimó la masa de la capa arable (Figura 6).

En un mismo suelo, el valor de densidad aparente es un buen índice del grado de compactación por medio del cálculo de la porosidad, es decir, la reducción del espacio poroso con radio equivalente mayor, llamado también espacio poroso no capilar, responsable del drenaje rápido del exceso de agua y, por ende, de la aireación del suelo; resultando ser la densidad aparente, un buen indicador de la calidad del suelo.

### Materiales utilizados

Balanza granataria con aproximación de 0.10 g

Estufa para secar suelo a 110 °C

Cilindros de acero inoxidable de 100 cc con tapas herméticas

Platos de aluminio

### Procedimiento

Se realizaron varias repeticiones para obtener un valor representativo. Se seleccionó la superficie de suelo a muestrear (Figura 7). Se introdujo el cilindro, teniendo cuidado de no compactar el suelo y tener un volumen conocido con la estructura de campo. Se selló

herméticamente el cilindro para que no hubiera pérdida de humedad, y se pesó. La muestra se llevó a secar en la estufa (110 °C) durante 24 horas, se determinó la humedad, el volumen del cilindro midiendo el diámetro y la altura del mismo (medidas internas) en ( $\text{Mg m}^{-3}$ ). Los valores se determinaron utilizando las siguientes ecuaciones. Ec.9.

$$Vt = \frac{D^2 \pi}{4} h \quad Pb = \frac{Pss}{Vt} \quad (9)$$

Donde,  $Vt$  = volumen de la muestra,  $D$ = diámetro del cilindro,  $h$ = altura del cilindro,  $Pss$ = peso del suelo seco.



**Figura 7.** Medidas del terreno y recogida de muestras de suelo en el campo.

El grado de compactación se determinó a partir de la medición de la resistencia a la penetración del suelo la cual se refiere a la resistencia que éste ofrece a que un instrumento (Penetrómetro; Foto 6) sea introducido en él. Esta resistencia mecánica se evaluó mediante la fuerza (carga o presión) requerida para que la varilla con punta cónica, penetrara hasta cierta profundidad en el suelo.

Se utilizó el penetrómetro marca Spectrum modelo SC-900. Tomando 10 muestras barriendo gran parte del terreno tanto vertical como horizontalmente (Figura 8).





**Figura 8.** Muestreo de la compactación con penetrómetro marca Spectrum modelo SC-900

Otras determinaciones realizadas fueron:

- Estabilidad de agregados (Kemper y Rosenau, 1986).
- Presencia de raíces ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ )
- Contenido de Materia orgánica
- Tasas de crecimiento y desarrollo del cultivo
- Estrés del cultivo (marchitez leve, moderada y severa)

Además, se realizaron muestreos para determinar los indicadores de salud del cultivo, así como indicadores socioeconómicos (Altieri et al., 2002) con el fin de determinar el grado de sostenibilidad de cada parcela y estimar el impacto agroecológico del manejo.

#### *Determinación del rendimiento del cultivo*

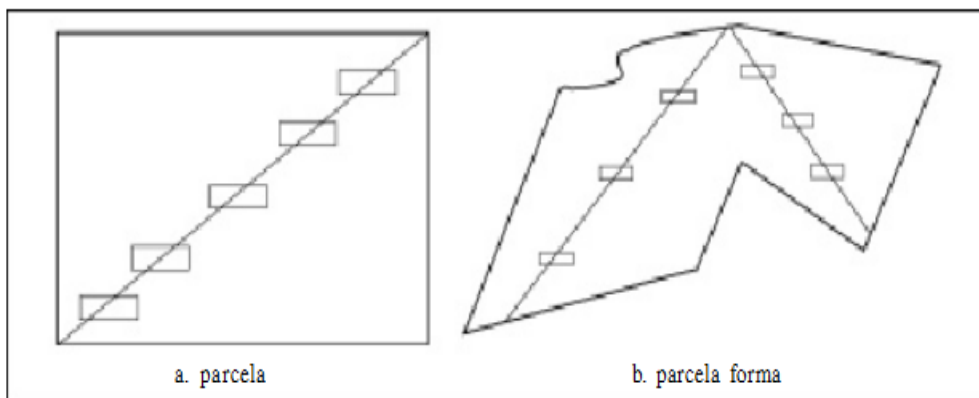
El rendimiento del cultivo es fundamental en esta investigación, ya que sin esto las interpretaciones agronómicas son incompletas. En el mismo sentido, a nivel práctico, en la administración tanto a nivel de familia como de sitio, el conocimiento sobre el rendimiento agronómico es fundamental en la toma de decisiones.

El rendimiento de maíz se expresa en unidad de masa por unidad de superficie, comúnmente como  $\text{kg ha}^{-1}$ . Es sencillamente, una cantidad física de producto (en kg) obtenida en una determinada área (ha). En teoría bastaría pesar o conocerla cantidad total del cultivo producido (maíz, por ejemplo) en una parcela y medirlo conocer el área para

tener el dato exacto; sin embargo, con un poco más de detalle en la medición, se puede generar información agronómica de gran utilidad.

### ***Momento de la toma de muestra***

Se tomaron las muestras en cinco sitios por parcela; sin embargo, teniendo en cuenta el tamaño de la parcela se definió si se utilizaría una o dos diagonales para la toma de muestras (Figura 9).



**Figura 9.** Ubicación de los sitios de muestra dentro de las parcelas.

### ***Determinación del área de muestreo***

El área de muestreo fue de tres surcos de ancho por 10 m de largo, tomado en cuenta la distancia entre surcos (DS) de ahí que el área de muestreo (AM) se calculó a partir de la ecuación Ec. 10.

$$AM= (3) (10) (DS) \quad (10)$$

Para determinar la DS de forma precisa, se midió la distancia entre seis surcos, incluyendo obviamente los tres que se iban a cosechar. Al considerar seis surcos, se promedió cinco veces la distancia entre surcos, lo cual le confirió mayor representatividad

a la medición. Quedando la cinta métrica perpendicular a los surcos, para no sobrestimar la medida.

Para mantener los 10 m de longitud sobre el surco y separar claramente las plantas que quedaron incluidas al inicio y al final de los 10 m se doblaron dos o tres plantas de cada lado, midiéndose pasando la cinta en medio de las plantas que iban cayendo con el objetivo de minimizar el número de plantas cuya pertenencia al área era ambigua, ya que estaban justo en la cinta. Sólo la mitad de estas plantas se incluyeron en la estimación de rendimiento.

### ***Medición de la producción de maíz***

El material utilizado para el muestreo fue: a) Formatos de toma de datos; b); Lápiz; c) Tres mecatres de 10 m con gancho o estaca (para amarrarlos);d) Balanza de reloj con soporte, con capacidad de 20 kg y precisión de  $\pm 50$  g; e) Sacos para pesar las mazorcas y mecate para amarrarlos; y f) Bolsas grandes de nylon y marcador permanente.

Al llegar al punto de muestreo, se definió el área (marcando los límites, midiendo las distancias), mientras quienes nos apoyaron en el trabajo empezaron a contar la densidad. Posteriormente, se cosecharon y juntaron las mazorcas en un lugar adecuado para el pesaje.

Una vez definida y medida el área de muestreo, se cosecharon las mazorcas y se realizaron las mediciones siguientes:

1. Se contó el número total de plantas en los tres surcos de 10 m de longitud, considerando las plantas “acamadas” o dañadas.
2. Se cosecharon las mazorcas y se amontonaron en un mismo lugar y se apuntaron el número de mazorcas pérdidas o ausentes. Por ejemplo, donde se encontraron elotes sin ningún grano o donde se distingue claramente que el agricultor cosechó unas cuantas mazorcas.
3. Se separaron las mazorcas sanas (o con daño menor al 10%) y las mazorcas dañadas.
4. Se pesaron los dos grupos de mazorcas por separado.

5. Se contó el número de mazorcas sanas y se seleccionó una muestra de 10% de mazorcas y se colocaron en una bolsa de plástico sellada e identificada con el nombre del agricultor, comunidad y fecha, hasta completar el muestreo en toda la parcela.
6. Se contaron las mazorcas dañadas o perdidas y se estimó el porcentaje promedio de daño. Atribuido visualmente un porcentaje de daño a cada mazorca, se sumaron los porcentajes y se dividió esta suma por el número de mazorcas dañadas.

Al finalizar el muestreo de una parcela, se selló la bolsa con la muestra compuesta de 50 mazorcas y se llevaron al laboratorio para continuar el estudio. Una vez reunidas las 50 mazorcas de los sitios de muestreo en una parcela, se pesó la muestra en una incertidumbre de 50 g o menor. Luego se desgranaron todas las mazorcas y se pesaron los olotes y el grano. Con base en el peso total y el peso de grano u olote se calculó la proporción de desgrane (i.e. peso de granos / peso total 50 mazorcas enteras con sus olotes). Seguidamente se determinó el peso específico del grano y el porcentaje de humedad se colocó alrededor de 200 gramos de maíz en una bolsa de nylon sellada e identificada para transportarse al laboratorio para la realización de las determinaciones arriba mencionadas. Se colocaron la muestra en un horno a 60° C durante dos días, teniendo el cuidado de registrar el peso antes y después de secar la muestra.

### ***Cálculo de los rendimientos***

Se determinaron los rendimientos durante el momento de madures del cultivo, para cada sitio sembrado, se calculó con base en el producto de los componentes individuales, como son mazorcas y granos y se determinaron con la formula Ec. 11 (

$$R = \left( \frac{10,000}{Ac} \right) * Pm * Ic * \%Ms \quad (11)$$

Dónde: R= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, Ac= Area cosechada ha<sup>-1</sup>, Pm= Peso de mazorcas, Ic= Indice de cosecha ha<sup>-1</sup>, Ms = %Materia seca

### ***Indicadores socio-económicos***

Se realizaron entrevistas en las comunidades de Etna San Pablo, Etna Cuilapam, Zaachila San Gabriel, Etna Guadalupe, Etna San Juan de Dios, se encuestaron 6 productores por localidad, para un total de 30, con los resultados de las entrevistas se decidieron los mejores sitios para plantear la investigación, para los que fueron determinados las variables socio económicas, a través de entrevistas semiestructuradas a los productores (Anexo II).

Las variables socioeconómicas derivadas de estas entrevistas fueron: Accesibilidad a la fuente de tracción, equidad (Salarios), control local de los recursos, diversificación de uso (Transporte, jaripeos), relación beneficio/costo, variabilidad de ingresos, endeudamiento, dependencia de subsidios, redituabilidad de inversión, autosuficiencia alimentaria.

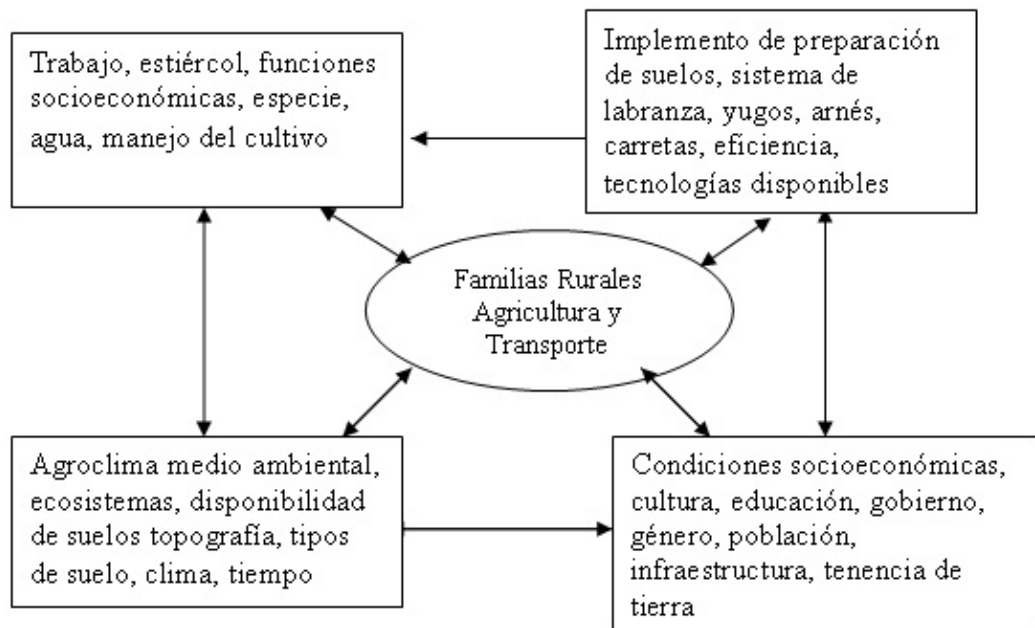
Los datos fueron sometidos a un análisis normalidad y homogeneidad de varianzas para el analisis de varianza y la prueba de Tukey para comparación de medias (SAS Institute 2002).

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Diagnóstico Agroecológico de las fincas en estudio

#### Análisis de la información

Se realizó un análisis bajo el enfoque de sistemas, que implica la identificación y caracterización de los componentes del sistema de producción de maíz, entradas, salidas y relaciones entre componentes (Guevara et al., 2011). (Figura 10)



**Figura 10.** Factores o variables que afectaron el uso de la energía y su interacción.

En estas localidades los agricultores poseen típicamente áreas menores a 3 ha, prevalece la labranza mixta y utilizan los animales principalmente en las labores de labranza secundaria. (INEGI, 2017) Para los Valles Centrales de Oaxaca, donde se ha estimado una dotación promedio de 1.89 ha por productor, la existencia de 0.5 yuntas por agricultor y la utilización de una dosis promedio de 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amonio por cerca del 50 % de los agricultores para la producción de maíz en temporal. Estos resultados similares

se obtuvieron en las investigaciones de (Guevara-Hernández, et al., 2015, en parcelas similares en el estado de Chiapas, donde campesinos locales siembran la variedad de maíz criollo conocido localmente como “precoz” y emplean 20 kg ha<sup>-1</sup>, obtenidos de la cosecha del ciclo anterior. Los productores que lo siembran lo hacen en promedio de 2 ha, con rendimiento promedio de 2t ha<sup>-1</sup>. Donde utilizan la producción para autoconsumo, siendo 35% para el consumo familiar y el resto para la alimentación de animales.

## 7.2. Valores energéticos de los insumos

Durante la labranza (Figura 5) en Cuilapam de Guerrero, Zaachila, se obtuvieron los valores de fuerza por labor realizada con la yunta (Cuadro 6). La operación con mayor demanda de fuerza fue la labranza primaria (barbecho), seguida por el surcado. El cruce representaba un barbecho adicional encaminado a deshacer los terrones de suelo realizado a menor profundidad. Teniendo en cuenta que la labranza con tracción animal también propicia la compactación de los suelos, ya que el pisoteo de caballos y bueyes produce presiones sobre la tierra de hasta 150 kPa y 250 kPa, respectivamente según resultados de (Soane y Van Ouwerkerk, 1994). Estas presiones son al menos iguales o mayores que las causadas por un tractor de ruedas.

**Cuadro 6. Lecturas de fuerza de tracción medidas con celda de carga por labor realizada en Cuilapam de Guerrero, Zaachila.**

Labores	Fueza Kgf/m	Energía MJ/ha
Barbecho	1113.17 a	173.75
Cruce	888.07 c	138.61
Surcado	1048.44 b	163.65
cultivo	325.12 d	50.72

Prueba de Tukey (P < 0.05)

Estos valores de fuerza fueron utilizados para determinar la energía invertida por los animales de tiro durante las operaciones de barbecho, cruce, surcado, cultivo, los cuales fueron comparados con los resultados obtenidos por (Gonzales et al., 2009) donde la energía secuestrada total de la tracción animal fue menor a la motorizada con valores de 238.6 MJ/ha para un suelo ferralítico rojo.

### **7.3. Eficiencia energética**

El uso de fertilizantes químicos, básicamente sulfato de amonio, en los sistemas de Labranza con tracción animal LTA y Labranza con tracción Mixta LMx, reflejaron un alto consumo de energía (Cuadro 7). Sin embargo, el menor gasto energético en el sistema Labranza mecanizada LM fue debido a que en el sitio 3 no se aplicó fertilizante por la falta de humedad, mientras que en el sitio 6 tampoco se aplicó fertilizantes debido a que se le aplicó regularmente estiércol y el suelo es un Feozem, reconocido por su alta fertilidad y potencial productivo (Ruiz, 1998); lo cual concuerda con los resultados de (Bertocco, M. et al., 2008).

El uso de mano de obra fue el más alto en LTA, debido al requerimiento de personal para todas las labores, incluyendo la aplicación de fertilizantes. En contraste, en el sistema LM se tuvo el menor aporte de energía humana y el mayor proveniente de maquinaria. La cantidad de semilla utilizada en este sistema también fue mayor, ya que el objetivo de estos productores era obtener la mayor cantidad posible de forraje para la alimentación del ganado lechero. En sistemas similares, el uso de mano de obra en la siembra de trigo ascendió a 20.9 MJ ha<sup>-1</sup>, mientras que el diesel utilizado representó 12219.0 MJ ha<sup>-1</sup> S (Shahan et al., 2008)



**Cuadro 7. Energía aportada por los diferentes insumos energéticos (MJ ha<sup>-1</sup>).**

Sistema de labranza	Fertilizantes (MJ ha <sup>-1</sup> )	Mano de obra (MJ ha <sup>-1</sup> )	Energía de tracción (MJ ha <sup>-1</sup> )	Trabajo animal (MJ ha <sup>-1</sup> )	Maquinaria (MJ ha <sup>-1</sup> )	Semillas (MJ ha <sup>-1</sup> )
LTA	2212.0 <sup>a</sup>	9.963 <sup>a</sup>	13.0 <sup>b</sup>	30.2 <sup>a</sup>		247.9 <sup>b</sup>
LMx	2212.2 <sup>a</sup>	4.150 <sup>b</sup>	673.0 <sup>a</sup>	12.2 <sup>b</sup>	11832 <sup>ab</sup>	210.4 <sup>b</sup>
LM	1169.1 <sup>b</sup>	0.263 <sup>b</sup>	1171.8 <sup>a</sup>		23945 <sup>a</sup>	370.7 <sup>a</sup>

Prueba de Tukey (P < 0.05)

En un estudio destinado a evaluar la sostenibilidad, los insumos fósiles variaron de 11.2 a 46.0 GJ ha<sup>-1</sup>; los valores más altos se debieron al alto uso de maquinaria e insumos químicos. El factor de eficiencia en la transformación de la energía (un indicador de la dependencia de la producción de alimentos y piensos con respecto a la energía no renovable) osciló entre 5,0 y 12,2 (Fumagalli et al., 2011)

En todos los casos, el sistema de LMx produjo los valores de eficiencia más bajos de eficiencia energética (EET) con respecto al sistema LTA, pero fue significativamente diferente (P ≤ 0.05) del sistema LMx cuando el rendimiento de grano, el forraje y las malezas fueron incluido (Cuadro 8). Este valor está fuertemente relacionado con el uso adicional de combustible requerido para las operaciones de labranza con el tractor en áreas de menos de 1 hectárea, debido a la gran cantidad de tiempo muerto requerido para realizar giros. En otros sistemas, se ha encontrado que la baja eficiencia energética se asoció con el uso de combustibles fósiles y el manejo inadecuado de los métodos de labranza (Bertocco et al., 2008; Ozkan, 2004).

### Cuadro 8. Indicadores de eficiencia energética.

Sistema de labranza	EP1 <sup>†</sup> (MJ ha <sup>-1</sup> )	EP2 <sup>‡</sup> (MJ ha <sup>-1</sup> )	EET <sup>§</sup> (MJ ha <sup>-1</sup> )
LTA	10.1 a	31.8 a	34.3 a
LMx	5.2 ab	18.1 ab	20.7 a
LM	1.2 b	4.7 b	5.2 b

<sup>†</sup>EP1, eficiencia energética parcial, incluyendo sólo rendimiento de grano

<sup>‡</sup>EP2, eficiencia energética parcial incluyendo rendimiento de grano y forraje

<sup>§</sup>EET, eficiencia energética total incluyendo rendimiento de grano, forraje y maleza

Cuando se consideró la energía del forraje, la eficiencia energética aumentó significativamente en todos los sistemas, alcanzando un valor máximo de 34.3 en el sistema LTA. Sin embargo, en términos porcentuales, el aumento en la eficiencia fue mayor en el sistema LM (292%). La contribución de malezas al aumento en la eficiencia energética fue 7.9-14.4%, con el valor más alto en el sistema LMx. En algunos casos, la contribución de la materia seca de las malezas en el agroecosistema milpa puede ser mayor que en el del ensilaje de maíz (González et al., 2009).

El sistema de producción no mecanizada de arroz en flor en Tailandia alcanza los 38,0 valores de eficiencia, mientras que la agricultura mecanizada del maíz de los Estados Unidos tiene valores cercanos a 3,0 (Gliessman, S., 2000). Estos valores son similares a los obtenidos en el presente estudio para los sistemas de LTA y LM. En estudios sobre intensidades de labranza, se obtuvieron valores de eficiencia energética (EE) de 7.7 a 8.6, pero estos no fueron proporcionales a la energía utilizada en la preparación del suelo, aunque las operaciones de menor labranza tendieron a dar valores más altos de EE (Mohammadhossein et al., 2012).

Se ha observado que la eficiencia energética es un tema crítico para la soberanía alimentaria en la mayoría de los países (Funes-Monzote, 2009), por lo que en condiciones de minifundio y producción para el consumo doméstico es recomendable usar tracción

animal o una mezcla de tracción mecánica. En este estudio no hubo diferencias en EE entre el sistema de labranza con tracción animal y el sistema de labranza mixto, que valida este último como una alternativa viable (Bertocco et al., 2008, Cuevas, 2004).

#### **7.4. Precipitación pluvial y tasas de crecimiento del cultivo**

Las precipitaciones en promedio fueron de 719.2 mm, con 459.5 mm para 2007 y 978.6 mm para 2010; la temporada de mayor lluvia fue de junio a septiembre con precipitaciones mensuales entre 100 y 160 mm. En general la lluvia estuvo bien distribuida, excepto en el sitio 3, donde en 2007 se presentaron deficiencias severas en la etapa de floración. Esta etapa fue la más susceptible al estrés hídrico (Ritchie et al., 1992).

Estas deficiencias de agua se reflejaron en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Cuadro 9). En general, se encontraron tasas de crecimiento de la altura de los cultivos (TCH)  $> 3$  cm día<sup>-1</sup> en parcelas con humedad adecuada del suelo y, por lo tanto, sin marchitez de la planta; TCH  $< 2$  cm día<sup>-1</sup> se asociaron con marchitamiento moderado al mediodía. Los datos de Barrales (1997) mostraron que el maíz, que crece en clima (temperatura media anual = 14°C) y con 396 mm de lluvia, fue capaz de crecer un promedio de 1,72 cm por día; en nuestro estudio el maíz que recibió sólo 125 mm de precipitación durante el período reproductivo (2,5 mm / día), mostró TCC cerca de 1,0 cm por día.

Las tasas de aparición de las hojas (TDH) se correlacionaron con la TCH, que a su vez, se relacionaron con el contenido de agua en el suelo. Otro factor que determina TDH es la temperatura. Según Tollenaar et al. (1978), el análisis por regresión polinomial de datos para plantas de maíz cultivadas a temperaturas constantes día / noche produjo una

ecuación cúbica para la tasa de aparición foliar (hojas / día) versus temperatura ambiente.

Para los datos recolectados en campo, la ecuación para la tasa de aparición versus temperatura fue superior a los días calendarios, pero similar a los días de grado.

**Cuadro 9. Valores medios y errores estándar de las tasas de crecimiento de la altura de los cultivos (cm día<sup>-1</sup>) y tasas de desarrollo foliar (hojas por semana) para el maíz en diferentes fechas y sitios.**

Fecha	Altura (cm)	No. de Hojas	TCC <sup>†</sup>	TDH <sup>‡</sup>
Sitio 1				
18 Mayo	6.5±3.1	0.9±0.1	--	--
1 Junio	35.0±4.2	3.4±0.3	2.0±0.2	1.3±0.1
29 Junio	172.0±5.6	9.7±0.2	4.9±0.5	1.6±0.3
Sitio 2				
25 Agosto	156.1±3.7	8.1±0.3	--	--
1 Septiembre	190.5±6.8	9.4±0.6	4.9±0.5	1.3±0.2
8 Septiembre	235.7±5.4	11.3±0.7	6.4±0.3	1.9±0.1
Sitio 3				
18 Mayo	26.0±3.9	4.0±0.3	--	--
1 Junio	48.6±5.8	4.7±0.1	1.6±0.2	0.35±0.2
29 Junio	105.0	8.5±0.4	2.0±0.1	0.95±0.2
Sitio 4				
18 Mayo	7.3±1.2	3.8±0.2	--	--
1 Junio	32.1±3.2	5.0±0.7	1.8±0.2	0.60±0.2
29 Junio	160.0±4.6	9.0±0.4	4.6±0.4	0.95±0.1
Sitio 5				
7 Julio	22.0±2.1	4.0±0.2	--	--
14 Julio	50.5±4.7	5.0±0.7	4.1±0.5	1.00±0.2
10 Agosto	158.6	8.5±0.4	4.2±0.1	0.87±0.1
Sitio 6				
30 Julio	28.7±4.9	5.0±0.6	--	--
19 Agosto	151.0±3.9	10.3±0.8	5.8±0.6	1.33±0.3
25 Septiembre	231.0±5.8	16.2±1.3	5.1±0.3	1.18±0.2

<sup>†</sup>Tasa de crecimiento del cultivo, <sup>‡</sup>Tasa de desarrollo de hojas

## 7.5 Producción de materia seca

El mayor rendimiento de materia seca total ocurrió en el sitio 6 con, con diferencias estadísticas respecto a los demás sitios (Cuadro 10). Con valores de 11547.8 kg ha<sup>-1</sup>, las

que generalmente fueron aportadas por el forraje y la maleza con valores de (5995.0 y 3303.8) kg/ ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Los sitios 6 y 3, en los cual se aplicó el sistema de labranza mecanizado produjeron los mayores rendimientos de forraje, mientras que los mayores rendimientos de grano se observaron en el sitio 6 y el 1, similares resultados se encontraron durante la evidencia de los experimentos de campo comparando diferentes sistemas de labranza donde se mostró una ligera reducción en el rendimiento de los cultivos bajo los sistemas de reducción de operaciones de labranza (Arvidsson et al., 2014); sin embargo, los impactos del rendimiento variaron con el tipo de cultivo, profundidad de labranza y rotación de cultivos. Como se mostrará después, los altos rendimientos de forraje fueron determinados por las densidades de siembra utilizadas, mientras que los rendimientos de grano fueron determinados por el grado de fertilidad del suelo, ya que en el análisis químico de los sitios 1 y 6 se encontraron contenidos de medianos a altos de materia orgánica y fósforo (Cuadro11).

Los sitios con aplicación de estiércol tuvieron una mayor cantidad de agregados estables, mientras que no hubo una tendencia definida para la densidad aparente. Una buena estructura del suelo se relaciona con la estabilidad de los agregados y puede ser promovida con la adición de estiércol de vaca (Fening, 2011).

**Cuadro 10. Rendimientos del maíz, forraje, densidad de plantas, y producción de maleza y materia seca total por sitio.**

Sitio	Grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Forraje (kg ha <sup>-1</sup> )	Densidad de plantas (Plantas por ha <sup>-1</sup> )	Maleza (kg ha <sup>-1</sup> )	Materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )
1	2360.3 a <sup>‡</sup>	4935.5 ab	39600 cb	1817.0 b	9112.3 b
2	2103.3 b	4641.0 abc	35030 c	2042.0 b	8786.3 bc
3	612.3 c	5909.3 a	76786 a	1031.3 bc	7552.3 cd
4	813.5 c	4159.0 bc	35094 c	2004.5 b	6976.8 d
5	807.8 c	3332.0 c	43027 bc	113.5 c	4253.0 e
6	2249.3 a	5995.0 a	46786 b	3303.8 a	11547.8 a
CV (%)	23.9	13.3	10.2	27.6	8.1

<sup>‡</sup> Medias con las mismas letras son iguales (Prueba de Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 11. Características físicas y químicas de los suelos por sitio.**

No. de Sitio	Profundidad (cm)	Textura del Suelo	Materia orgánica (%)	Fósforo extraíble (mg Kg <sup>-1</sup> )	Agregados estables en agua <sup>‡</sup> (g Kg <sup>-1</sup> )	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )
1	0-15	Migajón arcilloso	5.24	14.0	14.2	1.20
	15-30	Arena arcillosa	4.03	29.0	29.2	1.37
2	0-15	Arcilloso	1.61	8.7	8.5	1.08
	15-30	Migajón arcilloso	2.44	20.8	7.6	1.08
3	0-15	Migajón arenoso	1.52	18.5	12.2	1.35
	15-30	Migajón arenoso	2.10	14.0	20.4	1.33
4	0-15	Migajón arcilloso	3.12	19.8	13.2	1.14
	15-30	Arcilloso	3.62	15.0	18.3	1.17
5	0-15	Migajón arenoso	0.74	1.2	16.5	1.41
	15-30	Migajón arenoso	0.82	5.8	26.7	1.44
6	0-15	M. arcillo-limoso	2.42	19.0	14.6	1.23
	15-30	M. arcillo-limoso	2.82	24.6	17.4	1.25

<sup>‡</sup> Tamaño de la fracción : 1.0 mm.

Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los valores de densidad de plantas de los tres sistemas de labranza, pero los rendimientos de grano no fueron significativamente diferentes (Cuadro 12). Con densidades de 35062 - 41,314 plantas  $ha^{-1}$  se obtuvieron rendimientos de grano de 1692 – 1842  $kg\ ha^{-1}$ , considerados buenos (Ruiz, 1998). Para los suelos de planicie de la región de los Valles Centrales de Oaxaca, las densidades óptimas para la producción de grano oscilan entre 33-43 mil plantas  $ha^{-1}$  (Ruiz y Silva, 1999), por lo cual los sistemas LTA y LMx contaron con densidades de plantas dentro del rango óptimo.

**Cuadro 12. Rendimientos del maíz, forraje, densidad de plantas, y producción de maleza y materia seca (MS) total por sistema de labranza.**

Sistema de labranza	Grano $kg\ ha^{-1}$	Forraje $kg\ ha^{-1}$	Plantas $ha^{-1}$	Maleza $kg\ ha^{-1}$	MS total $kg\ ha^{-1}$
LTA	1841.6 <sup>a‡</sup>	4133.1 <sup>b</sup>	41314 <sup>b</sup>	965.3 <sup>b</sup>	6941.0 <sup>c</sup>
LMx	1695.9 <sup>a</sup>	4400.0 <sup>b</sup>	35062 <sup>c</sup>	2023.3 <sup>a</sup>	8119.0 <sup>b</sup>
LM	1430.8 <sup>a</sup>	5952.1 <sup>a</sup>	61786 <sup>a</sup>	2167.5 <sup>a</sup>	9550.4 <sup>a</sup>
CV (%)	22.9	12.1	9.0	26.4	6.1

<sup>‡</sup> Medias con las mismas letras son iguales (Prueba de Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Los mayores rendimientos de forraje y menores rendimientos de grano se obtuvieron con el sistema LM, con una densidad promedio de 61,786 plantas  $ha^{-1}$ . En consecuencia, se considera que todos los sistemas de labranza proporcionaron las condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo y permitieron obtener los rendimientos esperados según los objetivos de producción de cada sistema. Es decir, en el sistema LM el objetivo fue producir la cantidad máxima de materia verde para ensilaje o

consumo directo por el ganado lechero, mientras que en los otros sistemas fue la producción de grano para alimentación humana.

## 7.6. Indicadores Agroecológicos y de sostenibilidad

El cuadro 13 muestra los valores observados de los indicadores de la calidad del suelo. A pesar de que el sitio 1 tenía una estructura adecuada del suelo debido a la adición continua de estiércol de vaca, y una alta actividad biológica debido a las lombrices, mostró una elevada densidad aparente en la capa de suelo inferior. El sitio 6 también recibió altas cantidades de estiércol de vaca aproximadamente 20 ton año<sup>-1</sup>, no siendo así en los demás sitios.

**Cuadro 13. Indicadores de calidad del suelo por sitio.**

<b>Indicadores</b>	<b>Sitio1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>	<b>Sitio 6</b>	<b>Media</b>
Estructura del suelo	10.0	5.0	5.7	6.7	9.7	8.3	7.7
Compactación del suelo	8.5	1.5	9.0	8.5	8.0	8.7	7.4
Profundidad del suelo	8.0	9.0	10	9.3	8.5	9.5	9.0
Descomposición de residuos	10.0	2.0	1.7	3.2	9.3	8	5.7
Material orgánica	10.0	7.5	5.0	5.3	8.3	10.0	7.7
Retención de agua en el suelo	10.0	9.5	2.5	5.0	7.5	10.0	7.4
Desarrollo de raíces	5,5	8.0	5.0	5.5	7.0	8.7	7.1
Cobertura	9.5	8.5	8.0	8.3	10.0	7.5	8.5
Erosión del suelo	8.5	5.0	10.0	10.0	10.0	9.0	8.3
Actividad biológica	10.0	2.5	1.3	3.5	10.0	9.3	6.1
Valor total	90.0	58.5	8.2	65.3	88.3	87.8	

La estabilidad de los agregados y la proporción de agregados estables al agua puede ser promovida con la adición de estiércol de vaca o compost. (Fening, 2011), encontró que la proporción de los agregados pequeños (0.25 - 2 mm) fue mayor en compost elaborado con



estiércol de vaca aplicado a 5 t / ha, pero el estiércol de vaca por sí solo produjo la mayor proporción de macro-agregados (> 2 mm). Los mejores sitios de clasificados fueron los sitios 1, 5 y 6, que tenían una alta descomposición de los residuos de los cultivos, la estructura adecuada del suelo y alta actividad biológica. La cercanía de las tierras a la casa fue la principal razón para aplicar una mayor cantidad de estiércol a éstas parcelas.

En general, los indicadores que más contribuyeron a clasificar al suelo como de mayor calidad fueron la estructura y la actividad biológica, mientras que los que redujeron la calidad del suelo fueron la baja descomposición de residuos y la actividad biológica, sobre todo en el sistema de TA (Cuadro 13). La cobertura del suelo y la actividad biológica puede ser aumentada por el manejo. Ruiz et al. (2010) han evaluado la posibilidad de producir abonos verdes con cultivos intercalados con el maíz. De acuerdo con el cuadro 14 el sistema de labranza con tracción animal TA fue el que obtuvo los mayores valores en los indicadores, mientras que la labranza mixta LMx y labranza mecanizada obtuvieron valores similares ( $P > 0,05$ ).

**Cuadro 14. Valores promedio y error estándar de los indicadores de calidad del suelo por sistema de labranza.**

<b>Indicadores</b>	<b>Labranza Tracción Animal</b>	<b>Labranza mixta</b>	<b>Labranza mecanizada</b>
Estructura del suelo	9.85 ± 0.58 <sup>†</sup>	5.85 ± 0.00 <sup>†</sup>	7.00 ± 1.73 <sup>†</sup>
Compactación del suelo	8.25 ± 1.15	5.00 ± 2.19	8.85 ± 1.15
Profundidad del suelo	8.25 ± 0.57	9.15 ± 0.00	9.65 ± 0.00
Descomposición residuos	9.65 ± 0.56	2.60 ± 0.00	4.85 ± 2.04
Material orgánica	9.15 ± 1.11	6.4 ± 0.00	7.50 ± 1.81
Retención de agua	8.75 ± 1.13	7.25 ± 1.78	6.25 ± 2.19
Desarrollo de raíces	7.75 ± 0.10	6.75 ± 1.53	6.85 ± 1.73
Cobertura	9.75 ± 0.00	8.40 ± 0.00	7.25 ± 1.70
Erosión del suelo	7.75 ± 1.91	7.50 ± 1.64	9.50 ± 0.59
Actividad biológica	10.0 ± 0.00	3.00 ± 0.00	5.30 ± 2.42
Valor total	89.15 a <sup>‡</sup>	61.9 b	73.0 b

<sup>‡</sup> Medias con las mismas letras son iguales (Prueba de Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

### *Indicadores de salud del cultivo*

Dado que los sitios 1, 5 y 6 tuvieron los valores más altos para los indicadores de salud de las plantas (Cuadro 15), y las mismas parcelas mostraron valores altos para la calidad del suelo (Cuadro 13), es evidente que la calidad del suelo, especialmente la actividad biológica, se asoció a la salud de las planta. De acuerdo con Kladivko (2001), los organismos del suelo cumplen un rol importante en el suelo, incluida la mejora de la estructura, el ciclo de nutrientes y descomposición de materia orgánica.

**Cuadro 15. Indicadores de salud de las plantas de maíz por sitio.**

<b>Indicadores</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>	<b>Sitio 6</b>	<b>Media</b>
Aspecto de plantas	8.3	9.7	1.7	5.7	10	9.6	7.5
Crecimiento de las plantas	10.0	9.3	1.5	9.3	9.7	10.0	8.3
Plagas de insectos	9.7	10.0	2.6	5.3	9.5	8.5	7.6
Enfermedades	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Malas hierbas	10.0	3.0	4.1	5.2	10.0	7.7	6.7
Sequía	9.5	5.0	5.3	8.5	9.5	8.0	7.6
Rendimiento	10.0	5.5	1.0	5.0	8.0	10.0	6.6
Cultivo intercalado	10.0	1.0	1.0	5.0	10.0	6.2	5.5
Biodiversidad	10.0	4.5	5.0	5.0	10.0	7.5	7.0
Agroquímicos	10.0	4.0	6.0	5.0	10.0	8.3	7.2
<b>Total</b>	<b>97.5</b>	<b>62.0</b>	<b>38.2</b>	<b>64.0</b>	<b>96.7</b>	<b>85.8</b>	

Cuando se comparan estos indicadores a nivel de sistema de labranza se demuestra que la labranza con tracción animal LTA presentó los mayores valores. Los indicadores que se asociaron con una menor salud del maíz fueron el monocultivo y uso de agroquímicos en los sistemas mixto y mecanizado (Cuadro 16). La mayor incidencia de enfermedades se presentó bajo labranza mixta LMx, donde había menos biodiversidad circundante. La presencia de plagas fue mayor en el sistema mecanizado LM, establecido como monocultivo.

Se ha documentado que en maíz bajo monocultivo es más frecuente la incidencia de plagas (Wetzel et al., 2016) y enfermedades (Tilahun et al., 2001; Abebe et al., 2008). En el caso de las plagas, el monocultivo ofrece un abasto ilimitado de comida al insecto, mientras que un policultivo ofrece especies que pueden no ser de su preferencia.

También la presencia de vegetación nativa también puede actuar como barrera para evitar la diseminación de enfermedades a (Altieri, 1999).

**Cuadro 16. Valores promedio y error estándar de los indicadores de salud de las plantas por sistema de labranza.**

<b>Indicadores</b>	<b>Labranza Tracción Animal</b>	<b>Labranza mixta</b>	<b>Labranza mecanizada</b>
Aspecto de plantas	9.15 ± 1.15 <sup>†</sup>	7.7 ± 1.68 <sup>†</sup>	5.7 ± 1.77 <sup>†</sup>
Crecimiento	9.85 ± 0.57	9.3 ± 0.00	5.8 ± 1.19
Plagas de insectos	9.6 ± 0.00	7.7 ± 1.78	5.6 ± 2.04
Enfermedades	10.0 ± 0.00	1.0 ± 0.00	10.0 ± 0.00
Malas hierbas	10.0 ± 0.00	5.1 ± 0.00	5.9 ± 1.15
Sequía	9.5 ± 0.58	6.8 ± 1.78	6.7 ± 1.73
Rendimiento	9.0 ± 1.54	5.3 ± 0.00	5.5 ± 2.19
Cultivo intercalado	10.0 ± 0.00	3.0 ± 1.30	3.6 ± 1.72
Biodiversidad	10.0 ± 0.00	4.8 ± 0.00	6.3 ± 1.15
Agroquímicos	10.0 ± 0.00	3.2 ± 1.64	4.9 ± 1.42
Total	97.10 a <sup>¥</sup>	63.00 b	62.00 b

<sup>†</sup>Error estándar. <sup>¥</sup> Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey's test. P ≤ 0.05).

***Indicadores socio-económicos***

En el cuadro 17 se muestran los indicadores socioeconómicos de cada sitio notándose que los sitios con los mayores valores fueron los que se caracterizaron por tener menos deudas y menos dependencia de insumos externos para su desarrollo agrícola. La autosuficiencia alimentaria, que a menudo se considera un indicador de sostenibilidad de la agricultura

(Zhen y Zoebisch, 2006), fue el resultado de otras actividades económicas, incluyendo la producción de mano de obra, la venta de leche y queso y el dinero enviado por familiares en el extranjero.

Algunos de los recursos locales fueron los equipos para bueyes y el estiércol, los que tenían los valores más bajos en los sitios 2-4. En el sitio 1, a pesar que se practica el sistema de labranza con tracción animal, se encontraron los valores óptimos para el uso de los recursos locales pero también se obtuvieron valores muy bajos para la diversificación de los animales. Aquí una alta variabilidad en los ingresos fue declarada por el agricultor, lo que puede haber estado relacionado a su avanzada edad. Sin embargo, los agricultores de más edad tienen una vasta experiencia con las prácticas locales de producción y por lo general se utilizan como informantes clave (Zhen y Zoebisch, 2006).

**Cuadro 17. Valores de los indicadores de sostenibilidad socioeconómica por sitio.**

<b>Indicadores</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>	<b>Sitio 6</b>	<b>Media</b>
Accesibilidad a la fuente de traccion	10	10	8	8	10	8	9.0
Equidad (Salarios)	10	5	10	6	10	8	8.2
Control local de los recursos	10	5	5	5	8	8	6.8
Diversificación de uso (Transporte. jaripeos)	5	1	10	6	10	6	6.3
Relación beneficio/costo	10	10	6	8	10	10	9.0
Variabilidad de ingresos	5	10	8	5	8	8	7.3
Endeudamiento	10	5	6	8	10	9	8.0
Dependencia de subsidios	10	5	5	8	10	8	7.7
Redituabilidad de inversión	10	10	9	7	9	10	9.3
Autosuficiencia alimentaria	10	9	10	10	8	10	9.5
<b>Total value</b>	<b>90</b>	<b>70</b>	<b>77</b>	<b>71</b>	<b>93</b>	<b>85</b>	

El sistema de labranza mejor ubicado en cuanto a los indicadores socioeconómico fue el sistema de labranza con tracción animal (TA) (Cuadro 18), seguido por el sistema de

labranza mecanizado LM. De acuerdo con Funes-Monzote (2009), para identificar estrategias sostenibles a nivel local es necesario evaluar su impacto en las siguientes áreas: biodiversidad, productividad, ciclo de nutrientes y el equilibrio, la viabilidad económica y el empoderamiento. Las dos últimas áreas incluyen los indicadores socio-económicos tales como el uso de los recursos locales, la diversidad de productos, el grado de industrialización y la mecanización, el uso del conocimiento local, la promoción de prácticas sostenibles y el grado de autonomía para el proceso de decisión; esta última característica podría ser reflejadas en el grado de endeudamiento y la dependencia de los subsidios.

**Cuadro 18. Valores promedio de indicadores socioeconómicos de sostenibilidad por sistema de labranza.**

<b>Indicadores</b>	<b>Labranza Tracción Animal</b>	<b>Labranza Mixta</b>	<b>Labranza Mecanizada</b>
Accesibilidad a fuente de tracción	10.0 ± 0.00 <sup>†</sup>	9.0 ± 1.16 <sup>†</sup>	8.0 ± 0.00 <sup>†</sup>
Equidad (salarios)	10.0 ± 0.00	5.5 ± 0.57	9.0 ± 1.15
Control local de los recursos	9.0 ± 1.15	5.0 ± 0.00	6.5 ± 1.70
Diversificación de uso (transporte, jaripeos)	7.5 ± 2.16	3.5 ± 1.60	8.0 ± 1.08
Relación beneficio/costo	10.0 ± 0.00	9.0 ± 1.17	8.0 ± 1.91
Variabilidad de ingresos	6.5 ± 1.73	7.5 ± 1.75	8.0 ± 0.00
Endeudamiento	10.0 ± 0.00	6.5 ± 1.53	7.5 ± 1.73
Dependencia de subsidios	10.0 ± 0.00	6.5 ± 1.37	6.5 ± 1.70
Redituabilidad de inversión	9.5 ± 0.57	8.5 ± 1.60	9.5 ± 0.59
Autosuficiencia alimentaria	9.0 ± 0.00	9.5 ± 0.59	10.0 ± 0.00
<b>Total</b>	<b>92.0 a<sup>‡</sup></b>	<b>71.0 c</b>	<b>81.0 b</b>

<sup>†</sup>Error estándar. <sup>‡</sup> Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey's test.  $P \leq 0.05$ ).

Teniendo en cuenta los valores medios de los grupos de indicadores para cada sistema de labranza, el mejor clasificado fue el sistema de tracción animal LTA, seguido por el sistema LM, el que no presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) con el sistema de LMx (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Valores promedio de los grupos de indicadores por sistema de labranza.**

<b>Indicadores Sistema/Grupo</b>	<b>Tracción animal</b>	<b>Labranza Mixta</b>	<b>Labranza Mecanizada</b>
Calidad del suelo	89.15	61.90	73.00
Salud de las plantas	97.10	63.00	62.00
Socio-económicos	92.80	71.00	81.00
Valor promedio	92.75 a <sup>‡</sup>	65.30 b	72.00 b

<sup>‡</sup>Medias con iguales letras son iguales (Tukey's Test.  $P \leq 0.05$ ).

Los grupos que más influyeron en el mejor desempeño del sistema LTA fueron la calidad de suelo y los indicadores socio-económicos, los cuales se vieron influenciados por el tipo de suelo existente y la menor dependencia de insumos externos. Uno de los sitios bajo el sistema TM tenía un suelo clasificado como Phaeozem, el cual se reconoce que tiene un alto potencial de rendimiento (Ruiz, 1998) y este sitio tuvo mayor equidad (salarios) y rendimiento de la inversión.

El sistema de labranza mejor clasificado para los parámetros de sostenibilidad socioeconómica fue el sistema LTA, seguido del sistema LM, pero el sistema LM fue el segundo por puntaje total. Algunos de los indicadores que contribuyeron a disminuir el ranking de la clasificación más baja del sistema de LM, además del menor control local de los recursos y la diversificación del uso, fueron el grado de endeudamiento y la dependencia del subsidio. Por otro lado, los indicadores que aumentaron la clasificación del sistema de LM fueron la rentabilidad de la inversión y la equidad en los salarios.

Los sistemas con valores totales más altos, como LTA y LM, se caracterizaron por una menor dependencia al endeudamiento y al subsidio, así como a un mayor control de los recursos locales. Algunos de los recursos locales fueron equipos de bueyes y estiércol, que tenían los valores más bajos de disponibilidad en el sistema LM. En el sistema LTA se

encontraron valores altos de utilización de los recursos locales, pero también valores muy bajos para la diversificación de los animales.

La autosuficiencia alimentaria, que a menudo se considera un indicador de sostenibilidad agrícola (Zhen y Zoebisch 2006), se asoció con otras actividades económicas, incluido el trabajo manual, la producción de leche y queso, la venta de alimentos y el dinero enviado por familiares en el extranjero.

## 8. CONCLUSIONES

El comportamiento de un sistema de producción agrícola obedece a una infinidad de factores actuando de manera simultánea, y muy difícil analizar uno solo de ellos aislado de los demás por lo que los resultados obtenidos durante el estudio estuvieron sujetos a la disponibilidad de fincas en agricultores privados y no fueron establecidas parcelas experimentales donde los demás factores deberían haber permanecido constante para lograr los óptimos registros en dependencia de los sistemas de labranzas evaluados

El sistema de labranza con tracción animal produjo los mayores valores de eficiencia energética ( $34.3 \text{ MJ ha}^{-1}$ ), con diferencias significativas con labranza mecanizada y no significativas con labranza mixta.

El mejor sistema de labranza clasificado para los parámetros de la sostenibilidad socio-económica fue el sistema de labranza de tracción animal LTA, y le sigue el sistema de labranza mecanizado LM, donde los indicadores determinantes fueron la rentabilidad de la inversión y la equidad en los salarios.

La autosuficiencia alimentaria fue el resultado de otras actividades económicas, incluyendo la mano de obra, producción de leche y queso, las ventas de alimentos y el dinero enviado por familiares en el extranjero.

En general, los indicadores que más contribuyeron a clasificar al suelo como de mayor calidad fueron la actividad biológica y la estructura del suelo, mientras que los que



redujeron la calidad del suelo fueron la baja descomposición de residuos y baja actividad biológica, sobre todo en el sistema de labranza mixta.

Los valores más altos para los indicadores de salud de las plantas se obtuvieron en parcelas con valores altos para calidad del suelo; en estas, la actividad biológica se asoció directamente con la salud de las plantas.

Los indicadores de sostenibilidad socio-económica mostraron que la labranza con tracción animal (LTA) es muy compatible con las circunstancias particulares de la agricultura tradicional. Sin embargo, los sistemas de labranza mixtos obtuvieron los menores valores, pero sin diferencia estadística con valores del sistema mecanizado.

En consecuencia las hipótesis no fueron rechazadas ya que estuvo altamente relacionado la eficiencia energética con la variación de la salud de los suelos.

## 9. LITERATURA CITADA

Abebe, D., N. Singburandom, S. Sangchote and E. Sarobol. 2008. Evaluation of maize varieties for resistance to northern leaf blight under field conditions in Ethiopia. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 42: 1 – 10.

Allison, L. E. 1965. Organic Carbon. In *methods of soil analysis*. CA. Black (De) Monograph N<sup>o</sup> 9. Am. Soc. Agron. Madison. Wisconsin. 1367-1378. pp

Altieri, M A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19–31.

Altieri. M. A., C. I. Nicholls 2002. Un método Agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. Costa Rica. 64: 17-24

American Society of Agricultural engineers- ASAE. 2006. *Agricultural Engineers Yearbook*. Arg. Mach. Mgt. USA. St. Joseph. Data: EP391 y D230.3.

Arvidsson, J., Etana, A. & Rydberg, T. 2014. Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983–2012. *European Journal of Agronomy*, 52, 307–315

Atreyaa, K., S. Sharmab, R. Bajracharyab, N. Rajbhandari. “Developing a sustainable agro-system for central Nepal using reduced tillage and straw mulching”. *Journal of Environmental Management*. Vol. 88. 2008. pp. 547-555.

Baker, C.J., Saxton, K.E., Ritchie, W.R., Chamen, W.C.T., Reicosky, D.C., Ribeiro, F., Justice, S.E. & Hobbs, P.R. 2007. *No-tillage seeding in conservation agriculture*, 2nd edn. Cromwell Press, Trowbridge, United Kingdom, FAO and CAB International

Barrales, J. S. 1997. La asociación maíz-frijol, como alternativa para agricultura con problemas de heladas. *Agronomía Mesoamericana* 8(2):121–126.

Baruah, D.C. 2007. An investigation into the unergy use in relation to yield of rice (*Oriza sativa*) in Assam. India. Agriculture. Ecosystems and Environment 120: 185–191

Bertocco, M., Basso, B., Sartori, B., Martin, E. C., 2008. Evaluating energy efficiency of site-specific tillage in maize in NE Italy. Bioresourse Tecnology. Vol.99. 2008. pp. 6957-6965

Bonel, B.; Montico, S.; Di Leo, N.; Denoia, J. y Vilche, M. 2005. Análisis energético de las unidades de tierra en una cuenca rural. Revista de la FAVE - Ciencias Agrarias. 4(1-2):37-47.

Buckwell, A., Nordang Uhre, A., Williams, A., Polakova, J., Blum, W.E.H., Schiefer, J., Lair, G.J., Heissenhuber, A., Schießl, P., Kramer, C. & Haber, W. 2014. The sustainable intensification of European agriculture. Available at: [http://www.ieep.eu/assets/1404/111120\\_BROCH\\_SUST\\_INTENS\\_DEF.pdf](http://www.ieep.eu/assets/1404/111120_BROCH_SUST_INTENS_DEF.pdf); accessed 23/11/ 2015.

Conti, M. y R.E. Hermann. 1950. Las máquinas en la agricultura moderna. Biblioteca Agronómica. Buenos Aires Argentina.

Chaboussou, F. 1984. Fisiología y Resistencia de la Planta. Influencia de los abonos y plaguicidas en la fisiología de las plantas y su resistencia al ataque de plagas y enfermedades. Asociación Vida Sana. Barcelona. 28 p

Cuevas, H., Rodríguez, T., Paneque, P., Herrera, M., “La labranza conservacionista y sus gastos energéticos”. *Rev. Ciencias Téc. Agrop.* Vol. 13. 2004. pp. 29-36. <http://redalyc.uaemex.mx>. ISSN 1010-2760. (Consultado: mayo. 2011).

Denoia, J. y Monticos, S. 2010. Balance de energía en cultivos hortícolas a campo en Rosario (Santa Fe, Argentina). *Ciencia, Docencia y Tecnología.* 21(41):145-157

FAO. Particularidades del uso de los animales de trabajo en México. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/W0613T/w0613T0j.htm>. Revisado enero, 2018

FAO, ISRIC, ISSS. *World reference base for soil resources*. World Soil Resources Reports No. 84. 1998. Rome, Italy. Available on: <http://www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm>. Accessed: December 15, 2011.

Fawcett, R. & Towery, D. 2002. Conservation tillage and plant biotechnology: How new technologies can improve the environment by reducing the need to plow. Report for the Conservation Technology Information Center. Available at: <http://www.ctic.org/media/pdf/Biotech2003.pdf>; accessed 29/7/2015.

Fening, O., Ewusi-Mensah, N., Safo, E. Y., 2011. Short-term effects of cattle manure compost and NPK application on maize grain yield and soil chemical and physical properties. *Agricultural Science Research Journal* 1(3):69– 83.

Fluck, R.C. 1995. The hidden input. Southern regional workshop “Evaluating Sustainability”. University of Florida. USA. p.31-43.

Fluck, R.C. and C.D. Baird 1980. *Agricultural energetics*. Avi Publishing. University of Florida. USA. 192 p.

Fumagalli, M., Acutis, M., Mazzetto, F., Vidotto, F., Sali, G., Bechini, L., “An analysis of agricultural sustainability of cropping systems in arable and dairy farms in an intensively cultivated plain”. *European Journal of Agronomy*. Vol. 34. 2011. pp. 71-82.

Funes-Monzote, F.R, *Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para cuba*. 1<sup>st</sup> ed. Estación Experimental “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba. 2009. pp. 1-196.

Funes-Monzote, F.R. M. Monzote. E.A. Lantinga. C.J. F.Ter Braak. J.E. Sánchez y H. Van Keulen. 2009. *Agro-Ecological Indicators (AEIs) for Dairy and Mixed Farming*

Systems Classification: Identifying Alternatives for the Cuban Livestock Sector. *J. Sustainable Agric.* 33 (4): 435-460.

Franzluebbers, A., M. Arshad. "Soil organic matter pools with conventional and zero tillage in a cold, semiarid climate". *Soil & Tillage Research*. Vol. 39. 1996. pp. 1-11.

Gill, W.R. and G.E. Vandenberg. 1968. Soil dynamics in tillage and traction. Agriculture Handbook 316. Agricultural Research Service. US Department of Agriculture. Washington DC

Gomez, A. A., D. E. Sweete, J. K. Syers, and K. J. Coughlan. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. In *Methods for assessing soil quality*. Special Publication 49. Madison, WI: SSSA

González, R.P. 2008. Notas de la asignatura de Explotación de maquinaria agrícola. Universidad Agraria de La Habana. San José de las Lajas. Cuba.

González, R., García, A., Morejón –Mesa, Y., Morales –Rodríguez, D. Evaluación energética de la labor de rotura con tracción animal y tractor MTZ-510. Estudio de caso: Granja Guayabal, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 18, No. 3, 2009

González, R., Martínez, A., Basurto, F., Vibrans, H., "Crop and non-crop productivity in a traditional maize agroecosystem of the highland of Mexico". *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. Vol. 5. 2009. Available on: <http://www.ethnobiomed.com/content/5/1/38>. Accessed: September 13, 2010.

Gliessman, S. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. 1<sup>st</sup> ed. Ed. Lewis Publishers. Boca Raton, USA. 2000. pp. 1-357.

Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Larramendi, L. A., Hernández-Ramos, M. A., Fonseca-Flores, M., Pinto-Ruiz, R., Reyes-Muro, L., Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera “La Sepultura”, Chiapas, México Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.6 Núm.8 12nov - 31dic, 2015 p. 1929-1941, revisado en <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n8/2007-0934-remexca-6-08-01929-en.pdf>, Enero, 2018

Guzmán, G. I. and A. M. Alonso. 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. En *Agricultural Systems* 98:167-176.

Hall, C.A.S. and M.H. Hall. 1993. The efficiency of land and energy use in tropical economies and agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 46: 1-30.

Hill, J. E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky and D. Tiffany. 2006. Environmental, economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Contributed by David Tilman. *PNAS* 103: 11206-11210.

Heno, J. and C. Baanante, 2006. Agricultural production and soil nutrient mining in Africa: Implication for resource conservation and policy development. *IFDC Tech. Bull. International Fertilizer Development*.

Hernanz, J. L. 2008. Eficiencia Energética en Agricultura de Conservación en Zonas Semiáridas. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Ingeniería Forestal. España. 14 p.

Holland, J.M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103, 1–25.

Hopfen, H.J. 1961. Farm implements for Arid and Tropical Regions. FAO. Rome. Italy.

INEGI. 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía- [en línea]. Disponible en Internet: <http://www.inegi.org.mx>. (Consultado. Noviembre 2017).

INNS, F. 1991. The mechanics of animal draught cultivation implements. *The Agric. Eng.* 46(1): 18-21. London. England.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers* (Island. Washington. DC. 2007); [www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html).

Karlen, D.L., Duffi M.D. and Colvin T.S. 1995. Nutrient, labor, energy and economic evaluations of two farming systems in Iowa. *Journal of Production Agriculture* 8 (4): 540-546.

Kaltsa, A. M., A. P. Mamolos, C. A. Tsatsarelis, G. D. Nanos and K. L. Kalburtji. 2007. Energy Budget in Organic and Conventional Olive Groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122 (2) 243-251.

Koga, N. 2008. An Energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspective on fuel ethanol production from sugar beet. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 125:101-110

Kramer, L. 1986. Runoff and soil loss bycropstage from conventional and conservation tilled corn. *Transactions for the ASAE.* 29:3.

Kemper, W. D., and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. In *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods* (A. Klute, ed.), 425–442. *Agronomy Monograph No.9*, 2nd ed. Madison, WI: ASSA and SSSA.

Kladivko, E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Research* 61: 61–76.

Languê, C. and M. Khelifi. 2000. Energy use and time requirements for different weeding strategies in grain corn. *Canadian Biosystems Engineering* 43:213-221.

Larson, W. E. and F. J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality in evaluating for sustainable land Management in the developing Word. Vol 2 IBSRAM proc 12(2)

Lewis, T. E. 1995. Selecting and testing indicator of forest health. *In* Aguirre- Bravo. C. (ed) Proceedings of the North America Workshop of monitoring for ecological assessment of terrestrial and aquatic ecosystems. México: USDA. Forest Service. RM general technical report (284):140-156

Lockeretz, W., G. Shearer, D.H. Kohl and R.W. Klepper. 1984. Comparison of organic and conventional farming in the corn belt. In: *Organic farming: current technology and its role in a sustainable agriculture*. pp. 37-48 WI: American Society of Agronomy. Madison.

López, M. Vázquez, V., Salazar S., Zúñiga T., H. Trejo. “Sistemas de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero”. *Phyton*. Vol. 79. 2010. pp. 47-54.

Mamani P., Botello R., Condori B., Moya H., Devaux H. Efecto del Tipo de Labranza con Tracción Animal en las Características Físicas del Suelo, Conservación de la Humedad y en el Crecimiento y Producción del Cultivo de la Papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*. (2001). 12:130-151 130

Masera, O. y M. Astier. 1996. Energía y Sistema Alimentario en México: Aportaciones de la agricultura alternativa. En: *Agroecología y desarrollo agrícola en México*. México: Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco. 17-34 p.

Márquez, M.; Valdés, N.; Ferro, M. E.; Paneque, I.; Rodríguez, Y.; Chirino, E.; Gómez, L. M. y Vargas, D. 2011. Análisis agro-energético de tipologías agrícolas en La Palma.



In: Ríos, L. H.; Vargas, V. D. y Funes, M. F. (Comp.). Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba. 248 p

Masera, O., M. Astier, and S. López-Ridaura. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. México: Mundiprensa.

Meterechera, S. and H. Mloza-Banda. 1997. Soil penetration resistance, root growth and yield of maize as influenced by tillage Systems on ridges in Malawi. *Socil till. Res* 41:13-24.

Meul, M., F. Nevens, D. Reheul and G. Hofman. 2009. Energy use efficiency of specialised dairy arable and pig farms in Flanders” *ELSEVIER. Agriculture. Ecosystems and Environment* 119: 135-144. Disponible en Internet en [www. Sciencedirect.com](http://www.Sciencedirect.com)

Mohammadhossein R., Waismoradi A., Hoshang R., “Energy Efficiency of Different Tillage Systems in Forage Corn Production”. *Intnl. J Agri Crop Sci.* Vol. 4. 2012. pp. 1644-1652.

Morris, N.L., Miller, P.C.H. & Froud-Williams, R.J. 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment—a review. *Soil and Tillage Research*, 108, 1–15.

Navarro, B. A., S. B. Figueroa, M. M. Martínez, C. F. Gonzáles y C. E. Osuna. 2008. Indicadores Físicos del suelo bajo Labranza de Conservación y su relación con el Rendimiento de tres cultivos. *Agricultura Técnica en México*. 34(2): 151-158.

Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organicmatter. In *Methods of soil analysis* (A. L. Page et al., ed.), 961–1010. *Agronomy*

Series no. 9, Part 2, 2nd ed. Madison, WI: American Society of Agronomy.

Ozkan, B., Kurklu, A., Akcaoz, H., “An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: A case study for Antalya region of Turkey”. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 26. 2004. pp. 89-95.

Paneque, R. P., C. R. Soca, N. P. León, P. M. Pérez y D. G. García. 2006. Ahorro de energía utilizando labranza de conservación. *Revista Ciencias Técnica Agropecuaria*. 15:2. 39-41

Pimentel, D., G. Beradi and S. Fast. 1983. Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 9: 359-372.

Pimentel, D. 2006. Soil Erosion: A food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability* 8:119-137

Pordesimo, L. O. 2005. Variation in Corn Stover Composition and Energy Content with Crop Maturity. *Biomass and Bioenergy* 28: 366-374.

Quiroga, A. y D. R. Funaro-Fernández. 2004. Factores edáficos y de manejo condicionantes de la eficiencia Del barbecho en la región semiárida y subhúmeda pampeana. XIX. Congreso Argentino de la ciencia del suelo.

Ramaswamy, N. S. 1981. Report on Draught Animal Power as a Source of Renewable Energy. FAO. Rome. Italy.

Risoud, B. and B. Chopinet 1999. Efficacité énergétique et diversité des systems de production agricole. Application à des exploitation bourguignonnes. *Ingénieries* No. 20. décembre. pp. 17-25.

Ritchie, S. W., J. J. Hanway and G. O Benson. 1992. *How a corn plant develops*. Special Report No. 48. Iowa State University, Cooperative Extension Service, Ames, IA, <http://maize.agron.iastate.edu/cornngrows.html> (accessed October 4, 2011).

Roger-Estrade, J., Anger, Ch., Bertrand, M., and Richard, G., 2010. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research* 111(1):33–40.

Ruíz, V. J. 1998. Zonificación Agroecológica del Maíz de temporal en los valles centrales de Oaxaca. Determinación del potencial productivo. *Revista Terra. México* 16(3)269-275.

Ruíz, V. J. y M. E. Silva. 1999. Zonificación Agroecológica del Cultivo del Maíz de Temporal en los Valles Centrales de Oaxaca II. Determinación de las Prácticas de Producción Adecuadas. *Terra* 17 (4): 361-366.

Šarauskis, E., K. Romaneckas, S. Buragienė. “Impact of Conventional and Sustainable Soil Tillage and Sowing Technologies on Physical-Mechanical Soil Properties”. *Environmental Research, Engineering and Management*. Vol. 3. 2009. pp. 36-43.

SAS (Statistical Analysis System) Institute Incorporation. *SAS/STAT 9.0. User's Guide*. SAS Institute Inc. North Caroline, USA. 2002. pp. 121-130.

Guide. Version 9.0. Cary NC: SAS Institute Inc. North Caroline.

Shahan, S., A. Jafari, H. Mobli, S. Rafiee, M. Karimi. “Energy use and economic analysis of wheat production in Iran: A case study from Ardabil province”. *J. Agric. Technol.* Vol. 4. 2008. pp. 77-88.

Sims, B. G. 1984. El programa de ingeniería y mecanización agrícola del trópico húmedo de México. Folleto informativo 1. SARH. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Campo Cotaxtla. Veracruz. México.

Soane, B. D. and C. Ouwerkerk. 1994. Soil compaction problems in world agriculture. In: B. D Soane and C. van Ouwerkerk (eds.) Soil compaction in crop production, p. 1-21. Países Bajos. Elsevier Science.

SoCo Project Team 2009. Addressing soil degradation in EU agriculture: relevant processes, practices and policies. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. Available at: [http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/eusoils\\_docs/other/EUR23767.pdf](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/EUR23767.pdf); accessed 29/7/2015

Szott, L. 1998. Energía en la agricultura. Guía del curso agricultura tropical sostenible. Programa de Doctorado SPATS. UCR. Multicopiado. Costa Rica. 4 p.

Tabatabaeefar, A., H. Emamzadeh, M. Ghasimi, R. Rahimizadeh and M. Karisimi. 2009. Comparison of Energy of Tillage Systems in Wheat Production. *Energy* 34: 41-45.

Tilahun, T, G. Ayana, F. Abebe and D. Wegary. 2001. Maize pathology research in Ethiopia: A review. In: Mandefro Nigussie, D. Tanner, & S. Twumasi-Afriyie (eds.) *Proceedings of the Second National Maize Workshop of Ethiopia* pp. 97-105. November 12-16, 2001. Addis Ababa, Ethiopia. EARO & CIMMYT.

Tollenaar, M. T., B. Daynard and R. B. Hunter. 1978. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Science* 19(3):363–366.

Townsend, S., Ramsden, J., & Wilson, P., 2016 How do we cultivate in England? Tillage practices in crop production systems T. J., *Soil Use and Management*, March 2016, 32, 106–117

Tsatsarelis. “Energy requirements for cotton production in central Greece”. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 50. 1991. pp. 239-246.

Uhl, C. and P. Murphy. 1981. A comparison of productivities and energy values between slash and burn agriculture and secondary succession in the upper Rio Negro region on the Amazon Basin. *Agroecosystems* 7: 63-83.

Varsa, E., S. Chong and J. Abolaje, D. Farquhar and F. Olsein. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil till. Res* 43:219-228

Vaugh, M. 1947. Report on a detailed study of methods of yoking bullocks for agricultural work presented to the Imperial Council of Agricultural Research. *Indian Journal of Veterinary Science and Animal Husbandry* 15. 186.

Verhulst, N. François, I., Govaerts B., 2015. Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Consultado en Enero, 2018 [http://conservacion.cimmyt.org/en/component/docman/doc\\_view/1503-calidad-de-suelo-2015](http://conservacion.cimmyt.org/en/component/docman/doc_view/1503-calidad-de-suelo-2015).

Wetzel, W. C., Kharouba, H. M., Robinson, M., Holyoak, M., and Karban, R., 2016. Variability in plant nutrients reduces insect herbivore performance. *Nature* 2016: 425-427.

Zentner, R. P., M. A. Stumborg and C. A. Campbell. 1989. Effect of crops rotations and fertilization on energy balance in typical production systems on the Canadian prairies. *Agriculture. Ecosystems and Environment* 25:217-232.

Zhen, L., and M. Zoebisch. 2006. *Resource use and Agricultural Sustainability: Risks and Consequences of Intensive Cropping in China*. Kassel University Press, 202p.

## 10. APÉNDICE

### 10.1 Anexo I. Diagnóstico agroecológico

Encuesta para el diagnóstico AGROECOLÓGICO – Línea base

Fecha \_\_\_\_\_ Año que se evalúa \_\_\_\_\_ Compilador \_\_\_\_\_

#### 1.- Identificación y localización de la finca

Nombre de la Finca:

\_\_\_\_\_

Provincia:

\_\_\_\_\_

Municipio:

\_\_\_\_\_

#### 2.- Áreas de la finca (U.M. hectáreas)

Total \_\_\_\_\_ Agrícola \_\_\_\_\_ Instalaciones \_\_\_\_\_ Accidentes naturales \_\_\_\_\_

Pastos \_\_\_\_\_ Natural \_\_\_\_\_ Cultivado \_\_\_\_\_ Leguminosas \_\_\_\_\_

Forrajes \_\_\_\_\_ King grass \_\_\_\_\_ Caña \_\_\_\_\_ Otros \_\_\_\_\_ Otros \_\_\_\_\_

Cultivos \_\_\_\_\_ Arboleda \_\_\_\_\_ Monte y manigua \_\_\_\_\_ Aroma y marabú \_\_\_\_\_

#### 3.- Propósito productivo (marque X)

Leche \_\_\_\_\_ Carne \_\_\_\_\_ Agrícola \_\_\_\_\_ Mixta \_\_\_\_\_ Indefinida \_\_\_\_\_  
Otro \_\_\_\_\_

#### 4.- Abasto y suficiencia de agua para los animales (marque X)

Abasto de agua para beber y otros usos: B \_\_\_\_\_ R \_\_\_\_\_ M \_\_\_\_\_

Tipo de método de abasto:

Acueducto \_\_\_\_\_ Presa \_\_\_\_\_ Río \_\_\_\_\_ Pipa \_\_\_\_\_ Tranque \_\_\_\_\_ Pozo \_\_\_\_\_  
Molino de viento \_\_\_\_\_

5.- Fuentes de energía (marque X)

Eléctrica \_\_\_\_\_ Eólica \_\_\_\_\_ Combustible \_\_\_\_\_ Biogás \_\_\_\_\_

6.- Equipos e implementos (marque X y si es más de uno enumere)

Tractor \_\_\_\_\_ Carreta \_\_\_\_\_ Yunta de bueyes \_\_\_\_\_ Carretones \_\_\_\_\_ Pipa \_\_\_\_\_  
 Molino forrajero \_\_\_\_\_ Molino de granos \_\_\_\_\_ Arado \_\_\_\_\_ Surcador \_\_\_\_\_  
 Chapeadora \_\_\_\_\_ Ordeño mecánico \_\_\_\_\_

17.- Intensidad de la fuerza de trabajo (U.M. número de trabajadores y horas)

Trabajadores totales vinculados con la producción \_\_\_\_\_ Técnicos \_\_\_\_\_  
 Administrador \_\_\_\_\_  
 Horas promedio de trabajo diario \_\_\_\_ Horas hombre totales diario \_\_\_\_ Horas de trabajo  
 anual \_\_\_\_

8.- Biodiversidad animal y vegetal (U. M. número de cultivos o crianzas económicas)

ESPECIES DE ANIMALES					
Especies	No. de individuos	Especie	No. De individuos		
ESPECIES DE PLANTAS					
<i>Cultivos</i>	Área	<i>Pastos y Forrajes</i>	Area		
ESPECIES DE ARBOLES					
Frutales	No. Individuos	Forestales	No. individuos	Postes vivos	No. individuos

9.- Producciones totales y rendimiento

Producto (animal o vegetal)	Área (ha)	Producción (t)	Rend. (t/ha)

*Agrícolas*

Producciones principales	<i>Mercado agropecuario</i>	Mercado Estatal	<i>Autoconsumo</i>

10.- Reproducción bovina

Raza predominante (marque X): Holstein\_\_\_\_\_ Cebú \_\_\_\_\_ Brown Swiss \_\_\_\_\_  
 Jersey \_\_\_\_\_  
 Criollo\_\_\_\_\_ Cruces\_\_\_\_\_ Otros\_\_\_\_\_

11.- Reciclaje de nutrientes

Utilización de estiércol para la fertilización de los cultivos o los forrajes

Sí\_\_\_\_\_ No\_\_\_\_\_ Cantidad (toneladas)\_\_\_\_\_

Fabricación de abonos orgánicos

Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
Compost		Otros	
Humus de lombriz			
Estiércol curado			
Lodo de biodigestor			
Residuales líquidos			



Uso de residuos de cosecha para la alimentación animal

Tipo	Cantidad (t)	Tipo	Cantidad (t)

12.- Insumos productivos (todos los que vienen de fuera de la finca. tanto energéticos como alimentarios)

Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
Concentrado		Combustible diesel (l)	
Bagacillo Miel		Electricidad (Kw/h)	
Urea			
Forraje		Fertilizante químico	
Miel		Herbicida	

13.- Economía de la finca (U.M. Pesos)

Gastos: Totales \_\_\_\_\_ Salario \_\_\_\_\_ Insumos y materiales \_\_\_\_\_  
 Alimentación \_\_\_\_\_ Servicios \_\_\_\_\_ Amortización \_\_\_\_\_  
 Otros \_\_\_\_\_

Ingresos: Totales \_\_\_\_\_ Ventas al mercado estatal \_\_\_\_\_ Ventas al mercado  
 agropecuario \_\_\_\_\_ Otras ventas \_\_\_\_\_

Ingresos por: Productos pecuarios \_\_\_\_\_ Productos agrícolas  
 \_\_\_\_\_

Precio de venta de los productos

Producto	Precio unitario de venta	Producto	Precio unitario de venta



18. En que meses en que contrata jornaleros y salario que paga \_\_\_\_\_

19. Principal problema para producir cultivos en su finca o rancho. \_\_\_\_\_

23. Cuales son sus principales productos \_\_\_\_\_

24. En cuanto, cuando y donde vende sus productos 1. \_\_\_\_\_. 2. \_\_\_\_\_  
3. \_\_\_\_\_. 4. \_\_\_\_\_. 5. \_\_\_\_\_. 6. \_\_\_\_\_

25. Presenta problemas para  
comercializar

\_\_\_\_\_ si \_\_\_\_\_ no \_\_\_\_\_ cuales

26. Cuenta con implementos, fuente de tracción, taller, transporte  
suficiente para desarrollar sus trabajos \_\_\_\_\_

si no

27. Posee apoyo financiero para  
desarrollar su trabajo.

\_\_\_\_\_ si \_\_\_\_\_ no \_\_\_\_\_ a veces.

#### TECNOLOGIA DE PRODUCCION Y RENDIMIENTOS

1. Variedad \_\_\_\_\_
2. monocultivo o asociado \_\_\_\_\_
3. Densidad de siembra \_\_\_\_\_
4. Fertilización (dosis y oportunidad) \_\_\_\_\_
5. Fuente de tracción (tiempo requerido por ha) \_\_\_\_\_
6. Costo y consumo de combustible por operación tecnológica. \_\_\_\_\_
7. Rendimientos de grano \_\_\_\_\_ kg/ha
8. Rendimiento de forraje \_\_\_\_\_ kg/ha