



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



*"La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra"*

**Autonomía y sostenibilidad en la seguridad alimentaria del sistema familiar rural  
en la Mixteca Poblana**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**MIGUEL ÁNGEL AVALOS RANGEL**

Director de tesis:  
Dr. Manuel Huerta Lara



Diciembre 2021



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



*“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”*

**Autonomía y sostenibilidad en la seguridad alimentaria del sistema familiar rural en la  
Mixteca Poblana**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**MIGUEL ÁNGEL AVALOS RANGEL**

Comité tutorial:

Director	Dr. Manuel Huerta Lara
Integrante Comité Tutorial	Dr. Rolando Rueda Luna
Integrante Comité Tutorial	Dr. Ricardo Munguía Pérez
Integrante Comité Tutorial	Dr. Delfino Reyes López
Integrante Comité Tutorial	Dr. Eduardo Torres Ramírez

Diciembre 2021



**BUAP**

C. Miguel Ángel Ávalos Rangel

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

*Dr. J Santos Hernández Zepeda* Presidente

*Dr. Delfino Reyes López* Secretario

*Dr. Ricardo Munguía Pérez* Vocal

*Dr. Miguel Ángel González Fuentes* Vocal

*Dra. Sonia Emilia Silva Gómez* Vocal

*Dra. María Elena Ramos Cassellis* Suplente

*Dra. Gladys Linares Fleites* Suplente

Designado para la defensa de su tesis **"Autonomía y sostenibilidad en la seguridad alimentaria del sistema familiar rural en la Mixteca Poblana"** han manifestado mediante su voto que esta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Doctorado en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de Usted.

**ATENTAMENTE**

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z; a 09 de noviembre de 2021

*E. Torres. R.*

**Dr. Eduardo Torres Ramírez**

Coordinador

Posgrado en Ciencias Ambientales



**Posgrado en Ciencias  
Ambientales**

Edif. IC6, Ciudad Universitaria,  
Col. San Manuel, Puebla, Pue.  
C.P. 72570  
01 (222) 2 29-55-00 Ext. 7387

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada (número de beca 294172). Agradezco a mi director de tesis, Dr. Manuel Huerta Lara e integrantes de mi comité tutorial: Dr. Delfino Reyes López, Dr. Rolando Rueda Luna, Dr. Eduardo Torres Ramírez y el Dr. Ricardo Munguía Pérez; a mi comité revisor: Dra. Gladys Linares Fleites, Dra. Sonia Emilia Silva Gómez, Dra. María Elena Ramos Cassellis, Dr. J. Santos Hernández Zepeda, Dr. Delfino Reyes López, Dr. Ricardo Munguía Pérez y el Dr. Miguel Ángel González Fuentes; además de todos los profesores y trabajadores del Posgrado en Ciencias Ambientales que de alguna manera contribuyen con el aprendizaje y las necesidades del estudiante. También quiero agradecer de forma especial al Dr. Daniel E. Campbell de la Universidad de Rhode Island, USA, por su apoyo en lo referente al tema de la emergencia, lo cual influyó en la pasión que tengo sobre este tema. Estoy ampliamente agradecido por la participación en este trabajo de las familias de la comunidad de San Bernardino Tepenene, Puebla.

## *Dedicatoria*

*Dedico este trabajo con amor a las personas que han tenido una gran influencia en mi vida.*

*Mi esposa, María Elena Cobos Justo.*

*Mi madre, María Teresa Rangel Tapia.*

*Mi padre, Guillermo Avalos Albor.*

*Mis Hermanos, Alejandro, Elizabeth, Oswaldo, Paola y Mense.*

## Resumen

Los sistemas agrícolas de autoconsumo son de gran importancia para la seguridad alimentaria y sustento de las familias rurales en México. Sin embargo, el desempeño relacionado con la autonomía y sostenibilidad de la seguridad alimentaria en el sistema familiar rural podría estar comprometida debido a un manejo inadecuado de los recursos, el clima y cambios inadecuados en los saberes. Por tanto, estrategias de evaluación adecuadas son requeridas para identificar las mejor alternativas de desarrollo, desempeño y selección de modelos que permitan proporcionar herramientas cada vez más efectivas para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles y la erradicación de la inseguridad alimentaria y la pobreza en comunidades rurales. Sin embargo, en el presente, no hay un entendimiento holístico de la interface naturaleza-sociedad que permita predecir el desempeño relacionado con la autonomía y sostenibilidad de la seguridad alimentaria en el sistema familiar rural. Por tanto, este estudio evalúa los elementos ambientales, económicos y sociales que influyen en la autonomía y sostenibilidad de la seguridad alimentaria en el sistema familiar rural de la localidad de San Bernardino Tepenene Puebla, México. Tal ventana ambiental se estudió mediante la evaluación de emergía y se complementó con aspectos específicos relacionados con el desempeño global de los sistemas familiares de producción y consumo de alimentos, tales como características de la producción, socioeconómicas y de alimentación, clima y los saberes. La evaluación de emergía se realizó mediante la contabilización de la energía de diferentes calidades utilizada en el sistema, la cual se convirtió subsecuentemente a un solo tipo de energía (solar emjoules) y se utilizó para calcular índices de desempeño basados en la emergía. El desempeño global de los sistemas de producción identificados en la comunidad fue opuesto. Mientras que los valores de la ratio de autosuficiencia de emergía (ESR) y del índice de sostenibilidad de emergía (ESI) fueron de 0.74 y 9.80 en el sistema milpa familiar, respectivamente; los valores de ESR y ESI en el sistema jitomate familiar fueron de 0.01 y 0.0028, respectivamente. Tales sistemas agrícolas familiares se caracterizan por ser de subsistencia (de acuerdo a la propiedad de la tierra, área de explotación, temporada de siembra, uso de agroquímicos y maquinaria con productividad baja y

la necesidad de un ingreso extra para subsistir) que proporcionan maíz, frijol, calabaza y jitomate, principalmente; cuyos productos se destinan en su mayoría al autoconsumo. No obstante, temperaturas cercanas a los 0°C durante el invierno y precipitaciones nulas desde la etapa tardía del desarrollo vegetal del maíz hasta la etapa inicial de su maduración ocasionan estrés por frío y estrés hídrico. Diferentes productos del traspatio se suman a la dieta familiar, donde predomina el durazno, nopal, limón, aguacate y guayaba, así como el huevo, pollo y leche como alimentos de origen animal. Además, los saberes familiares permiten identificar varias plantas silvestres, tales como los alaches, verdolagas y huajes, pero algunos saberes relacionados con la producción y el reciclaje de recursos han sido modificados en la comunidad. El porcentaje de personas con seguridad alimentaria fue de 8.00%; Sin embargo, el 100% de la cantidad de macronutrientes y micronutrientes recomendados fue cubierta con los principales alimentos de autoconsumo, excepto 14%, 51%, 15% y 52% de la proteína, calcio, vitamina B12 y A, respectivamente. El desempeño del sistema milpa familiar es superior comparado con otros sistemas agrícolas, incluyendo sistemas ecológicos y de reciclaje, mientras que el desempeño del sistema jitomate familiar es bastante inferior; pero el uso de recursos no es óptimo y, aunque es peor en el sistema jitomate, ambos sistemas requieren mejorar para alcanzar una empotencia máxima. Sin embargo, los productos agrícolas, junto con los que están disponibles en el traspatio y de forma silvestre, tienen un potencial alto para satisfacer las necesidades nutricionales.

# Índice

<b>I. Introducción</b> .....	1
<b>II. Justificación</b> .....	4
<b>III. Marco teórico</b> .....	5
<b>3.1. Sistemas y complejidad</b> .....	5
3.1.1. Teoría general de sistemas .....	5
3.1.2. Sistema familiar .....	6
3.1.3. Sistemas complejos .....	7
3.1.4. Interdisciplina .....	7
<b>3.2. Saberes</b> .....	8
<b>3.3. Características de la familia rural</b> .....	10
<b>3.4. El clima en la agricultura</b> .....	13
<b>3.5. Seguridad alimentaria y nutrición</b> .....	15
<b>3.6. Sostenibilidad</b> .....	21
3.6.1. Estados estacionarios oscilantes y la sostenibilidad .....	23
<b>3.7. Energía</b> .....	24
3.7.1. Leyes de la termodinámica .....	24
3.7.2. Flujo de energía en los sistemas ambientales.....	27
3.7.3. Explotación de los recursos naturales y sostenibilidad .....	29
<b>3.8. Emergía</b> .....	31
3.8.1. El nacimiento del concepto de emergía.....	32
3.8.2. Unidad de valor de emergía (UEV).....	33
3.8.3. Línea base de emergía de la geobiosfera (GEB).....	36
3.8.4. Símbolos utilizados en los sistemas de energía (Odum, 1996).....	37
3.8.5. Flujos de energía en los sistemas .....	41
3.8.6. Índices de desempeño basados en emergía .....	43
<b>IV. Formulación del problema de investigación</b> .....	48
<b>4.1. Preguntas de investigación</b> .....	49
<b>4.2. Hipótesis</b> .....	49
<b>4.3. Objetivos</b> .....	50
<b>V. Metodología</b> .....	51
<b>5.1. Localización</b> .....	51
<b>5.2. Enfoque de investigación</b> .....	52

5.2.1.	Cuantitativo.....	52
5.2.2.	Cualitativo.....	53
<b>5.3.</b>	<b>Análisis de la información .....</b>	<b>54</b>
<b>5.4.</b>	<b>Saberes .....</b>	<b>54</b>
<b>5.5.</b>	<b>Caracterización del sistema familiar rural .....</b>	<b>54</b>
<b>5.6.</b>	<b>Análisis climático .....</b>	<b>55</b>
<b>5.7.</b>	<b>Evaluación de la seguridad alimentaria .....</b>	<b>55</b>
<b>5.8.</b>	<b>Determinación del aporte nutricional familiar .....</b>	<b>56</b>
<b>5.9.</b>	<b>Evaluación de la autosuficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola del sistema familiar rural.....</b>	<b>56</b>
5.9.1.	Datos utilizados para el cálculo de recursos.....	60
<b>VI.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>61</b>
<b>6.1.</b>	<b>Saberes del sistema familiar rural .....</b>	<b>61</b>
<b>6.2.</b>	<b>Caracterización del sistema familiar rural .....</b>	<b>66</b>
<b>6.3.</b>	<b>Análisis climático .....</b>	<b>78</b>
<b>6.4.</b>	<b>Evaluación de la seguridad alimentaria .....</b>	<b>82</b>
<b>6.5.</b>	<b>Determinación del aporte nutricional .....</b>	<b>83</b>
6.5.1.	Consumo de energía y macronutrientes.....	83
6.5.2.	Consumo de micronutrientes.....	85
<b>6.6.</b>	<b>Evaluación de la autosuficiencia y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas familiares en base a la emergía .....</b>	<b>91</b>
6.6.1.	Evaluación del sistema milpa familiar .....	91
6.6.2.	Evaluación del sistema jitomate familiar .....	98
6.6.3.	Evaluación del sistema milpa-jitomate .....	103
<b>VII.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>110</b>
<b>7.1.</b>	<b>Saberes .....</b>	<b>110</b>
<b>7.2.</b>	<b>Caracterización .....</b>	<b>113</b>
<b>7.3.</b>	<b>Aspectos climáticos .....</b>	<b>115</b>
<b>7.4.</b>	<b>Seguridad alimentaria y nutrición familiar .....</b>	<b>117</b>
<b>7.5.</b>	<b>Autosuficiencia y sostenibilidad basada en la emergía .....</b>	<b>122</b>
<b>VIII.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>130</b>
<b>Apéndice.....</b>		<b>132</b>
<b>Apéndice A.</b>	<b>Cálculos de los flujos de emergía en el sistema milpa.....</b>	<b>132</b>
<b>Apéndice B.</b>	<b>Cálculos de los flujos de emergía en el sistema jitomate.....</b>	<b>157</b>

<b>Apéndice C. Cálculos de los flujos de energía en el sistema milpa-jitomate .....</b>	<b>164</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>191</b>

## I. Introducción

La inseguridad alimentaria ha aumentado desde el 2014, fenómeno que afectó de forma severa en 2020 a 11.9% y 14.2% de las personas del mundo y de América Latina y el Caribe, respectivamente; sin embargo, el porcentaje de personas que padecieron inseguridad alimentaria moderada-severa en el mundo y América Latina durante el 2020 fue 2.5 y cerca de 3 veces mayor que los porcentajes de inseguridad alimentaria severa de este mismo año, respectivamente (FAO *et al.*, 2021). El porcentaje de personas con inseguridad alimentaria resultaría mayor si se considerara también a la fracción de personas en estado de inseguridad alimentaria leve. Finalmente, es preocupante que la erradicación del hambre es uno de los objetivos de desarrollo sostenible planteado en la agenda 2030 de las naciones unidas (UN, 2015), pero las cifras muestran que la inseguridad alimentaria persiste, e incluso, aumentó tras cinco años del planteamiento de tales objetivos. En el caso de México, la inseguridad alimentaria moderada-severa (carencia por acceso a la alimentación) se ha mantenido similar durante los últimos años, dado que los porcentajes de personas que sufrieron inseguridad alimentaria moderada-severa fueron de 20.1% a 24.8% durante el periodo 2008-2020 (CONEVAL, 2021). Pero el caso fue diferente para las familias rurales de México, puesto que 46.30%, 20.60% y 11.20% de las familias rurales tuvieron un grado leve, moderado y severo de inseguridad alimentaria (CONEVAL, 2019a). Cuyos datos indican que el porcentaje de familias que presentaron inseguridad alimentaria moderada-severa (31.80%) fue superior a los datos generales de México. Otro de los objetivos de desarrollo sostenible planteado en la agenda 2030 de las naciones unidas es la erradicación de la pobreza (UN, 2015). La pobreza en el mundo afecta principalmente las áreas rurales, ya que aproximadamente 80% de la pobreza del mundo se concentra en estas áreas (Bank World, 2020), donde las personas dependen de la agricultura para subsistir (NU, 2002). No obstante, diversos estudios realizados en América Latina y el Caribe señalan que la agricultura familiar tiene gran importancia en la erradicación del hambre y el combate a la pobreza (FAO, 2014). La productividad, rentabilidad y sostenibilidad de la agricultura familiar son clave para la erradicación de la pobreza rural (Grubbström and Sooväli-Sepping, 2012; Fan, 2013; Wegren

and O'Brien, 2018); pero también para la mejora de la seguridad alimentaria, debido a que las unidades familiares agrícolas juegan un papel importante en la seguridad alimentaria rural (FAO, 2015a).

La agricultura familiar se caracteriza por tener recursos limitados (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017). Esta cuenta con una superficie pequeña de alrededor de 4.7 ha (SAGARPA and FAO, 2012; CEDRSSA, 2014), que le permite producir alimentos para el autoconsumo y/o comercializarlos; además de requerir un ingreso extra que permita hacer frente a los recursos productivos e ingresos insuficientes obtenidos por medio de la agricultura, lo cual dependerá del tipo de agricultura familiar (FAO and BID, 2007).

El sistema milpa familiar en México garantiza un sustento de alimentos, pero también proporciona un soporte financiero algunas veces, puesto que un excedente en la producción agrícola genera ingresos económicos (Sánchez-Morales and Hernández-Ortiz, 2014). Los productos del sistema milpa junto con la enorme variedad de plantas identificadas en los traspatio familiares (González Ortiz *et al.*, 2014; Guarneros-Zarandona *et al.*, 2014; Olvera-Hernández *et al.*, 2017) cubren un porcentaje importante de las necesidades alimenticias y permiten generar ahorros e ingresos (Salazar-Barrientos and Magaña-Magaña, 2016; Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017). Lo cual se puede complementar aún más con las cerca de 250 especies de plantas silvestres comestibles identificadas en México (Mapes and Basurto, 2016). El consumo de frutas y verduras es fundamental para garantizar una dieta diversificada y nutritiva; sin embargo, las dietas tradicionales de todo el mundo han sido remplazadas por alimentos con un alto contenido de grasa (OMS, 2003). Esto afecta claramente la seguridad alimentaria, pero otros factores también se suman al problema. Por ejemplo, el crecimiento de la agricultura ha sido limitado por los eventos climáticos recurrentes (CEDRSSA, 2014). Incluso, el clima desfavorable es una de las causas de la productividad baja en la agricultura familiar (SAGARPA and FAO, 2012; Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017).

El conocimiento tradicional es un elemento crucial para el desarrollo de las comunidades y podría ayudar a erradicar la pobreza (Gartaula *et al.*, 2020). Además, los saberes locales permiten la autosuficiencia alimentaria, incluso en

condiciones adversas (Gómez-Espinoza and Gómez–González, 2006). Lo cual ha sido observado en sistemas que han optimizado el desempeño de los sistemas de producción mediante el manejo tradicional de los cultivos, dado que mimetizan los ecosistemas naturales y su manejo exitoso requiere reciclar en vez de utilizar recursos adquiridos del exterior del sistema (Diemont *et al.*, 2006). Por tanto, el conocimiento tradicional juega un papel significativo en el manejo adecuado de los sistemas de producción. Incluso, tal conocimiento ha sido reconocido por contribuir al desarrollo sostenible y podría beneficiar los procesos de toma de decisión (IPCC, 2014; El Chami *et al.*, 2020). Sin embargo, la agricultura ha dejado de utilizar una cantidad mayor de recursos naturales gratuitos para utilizar una cantidad creciente de recursos fósiles (González-Ulibarry *et al.*, 2017). Desde la segunda parte de siglo XX, los programas gubernamentales han promovido los monocultivos, la mecanización, el mejoramiento de variedades y el uso de agroquímicos (Sánchez-Morales and Hernández-Ortiz, 2014; Ebel *et al.*, 2017). Factores que pudieron haber comprometido la sostenibilidad en la producción de alimentos y los saberes relacionados con ello, lo cual afecta la seguridad alimentaria.

Debido a que los sistemas de producción tienen una gran importancia en la seguridad alimentaria y combate a la pobreza rural, un manejo adecuado de los recursos de estos sistemas debe ser asegurado. Para lo cual, una estrategia apropiada de evaluación es requerida, la cual permita garantizar la disponibilidad permanente de alimentos e ingresos familiares.

Puesto que los sistemas ambientales incluyen una interface entre los sistemas ecológicos y la sociedad (Odum, 1996), los sistemas familiares de producción de alimentos son sistemas socioeconómicos que existen en la interface ambiental-económica. Por tanto, el entendimiento de esta interface es clave para entender el desempeño de estos sistemas y su relación con la seguridad alimentaria y la pobreza; sin embargo, el entendimiento de la interface naturaleza-sociedad es escasa. No obstante, algunos estudios lo han abordado, tal como Diemont *et al.* (2006), quienes reportaron un estudio que utilizó la emergía para evaluar sistemas agroforestales en Chiapas, México, pero el estudio no contempló la producción en paralelo de los productos múltiples. Por otro lado, varios estudios han reportado la

evaluación de emergía de sistemas agrícolas comerciales, los cuales incluyen el cultivo de grano (Houshyar, *et al.*, 2018), forraje de maíz (Ghaley *et al.*, 2018), leguminosas (Asgharipour *et al.*, 2019), sistemas agrícolas nacionales y regionales (Lewandowska-czarnecka *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019) y sistemas agrícolas protegidos (Zhao, *et al.*, 2019b; Asgharipour *et al.*, 2020).

Los sistemas familiares de producción de alimentos de la comunidad de San Bernardino Tepehene proporcionan alimentos e ingresos por la venta de jitomate o de los excedentes escasamente generados, pero la inseguridad alimentaria y la pobreza no ha sido erradicada. Sin embargo, no existen conocimientos relacionados con el entendimiento de la interface naturaleza-sociedad y demás aspectos específicos de la comunidad relacionados con el desempeño global de los sistemas familiares de producción y consumo de alimentos, tales como las características de la producción, alimentación, reciclaje y uso de recursos, clima y los saberes relacionados con ello; cuya falta de conocimiento evita la identificación de estrategias apropiadas para maximizar el desempeño del sistema y garantizar la producción sostenible de alimentos y un ingreso mayor. De acuerdo a lo anterior, este estudio tuvo como objetivos: 1) Identificar los saberes tradicionales y sus modificaciones originadas por la percepción de las familias rurales, 2) caracterizar el sistema familiar rural, 3) analizar los aspectos climáticos de temperatura y precipitación que inciden en la producción de cultivos, 4) evaluar la seguridad alimentaria del sistema familiar rural, 5) determinar el aporte nutricional familiar de los productos de autoconsumo y 6) evaluar la autosuficiencia y sostenibilidad basadas en la emergía de los sistemas familiares de producción agrícola en San Bernardino Tepehene Puebla, México.

## **II. Justificación**

Las cifras nacionales e internacionales sobre inseguridad alimentaria (CONEVAL, 2019a, 2021; FAO *et al.*, 2021) indican que la toma de decisiones y políticas involucradas en el combate a la inseguridad alimentaria no han sido adecuadas; sobre todo en las zonas rurales. Donde las familias dependen de la agricultura para subsistir (NU, 2002). Sin embargo, acciones que integren todos los elementos, o por

lo menos los más importantes, involucrados en la ventana ambiental referente al desempeño y seguridad alimentaria de los sistemas complejos familiares rurales no han sido adoptadas. Por tanto, el desarrollo de conocimiento que permita alcanzar estas acciones es crucial. El conocimiento proporcionado en este estudio es importante para la toma de decisiones y políticas involucradas en este tema. Dado que, la investigación está dirigida a entender el comportamiento ambiental-económico de los sistemas agrícolas de producción de alimentos mediante un método de evaluación que permite integrar tal interface. Además de considerar otros aspectos que no pueden, o no han podido, ser incorporadas al método, pero que están vinculados con el desempeño y la seguridad alimentaria. Estos son el clima, los saberes, algunas características del sistema y la nutrición humana. El propósito es que los recursos disponibles en la comunidad de San Bernardino Tepenene y en cualquier otra comunidad rural puedan ser utilizados y aprovechados de una mejor manera para que la disponibilidad de alimentos (desde la producción agrícola, los productos del traspatio y los productos silvestres) permita satisfacer las necesidades nutricionales de las familias de forma permanente; además de generar un mayor soporte financiero que no solo permita tener acceso a alimentos para complementar la dieta según las preferencias y gustos de las familias, sino que también permitan mejorar el desarrollo de las familias. Por tanto, esta investigación tiene una aplicación importante en la erradicación de la inseguridad alimentaria y la pobreza, así como en el desarrollo rural sostenible de comunidades altamente marginadas.

### **III. Marco teórico**

#### **3.1. Sistemas y complejidad**

##### **3.1.1. Teoría general de sistemas**

La teoría general de sistemas se introdujo por primera vez por von Bertalanfy, su primera publicación en el área fue en 1968, con el libro *General System Theory*; aunque trabajos previos se habían realizado, este es el nombre que se ha utilizado desde entonces; los sistemas han tenido un gran papel en todos los campos de la

ciencia, un sistema se puede definir como un complejo de elementos que interactúan de acuerdo a algún tipo de proceso (von Bertalanffy, 1968; Odum, 1994), cuya interacción significa que los elementos permanecen en relaciones,  $R$ , de modo que el comportamiento de un elemento en  $R$  es diferente en otra relación  $R'$ ; este complejo puede entenderse de dos formas: 1) la suma de las características y el comportamiento de los elementos de forma aislada y 2) el conocimiento de los elementos y sus relaciones; tales formas se nombran *sumativa* y *constitutiva*, respectivamente (von Bertalanffy, 1968). El todo es más que la suma de las partes cuando interactúan (Odum, 1994). Todos los elementos de un sistema son considerados, en lugar de separarlos, para entender el todo, lo cual se define como síntesis (Brown and Ulgiati, 2004a). El todo es más que la suma de las partes, puesto que el complejo es diferente a los elementos individuales; por tanto, aunque conozcamos todos los elementos y sus relaciones, el comportamiento del sistema puede derivarse del comportamiento global de los elementos (von Bertalanffy, 1968).

### 3.1.2. Sistema familiar

La teoría de sistemas familiares comenzó a desarrollarse entre 1969 y 1979, a partir de la teoría general de sistemas, con el fin de desarrollar una teoría aplicable al sistema familiar para comprender dinámicas, roles, estructuras, patrones de comunicación, límites dentro de los miembros de la familia y límites entre la familia y las entidades externas (Schaeperkoetter *et al.*, 2015). La familia es un sistema social considerado la célula base o unidad mínima de la sociedad que presenta gran diversidad de interconexiones, cuyo comportamiento de cada miembro de la familia y de esta como un todo está influenciado por la necesidad de un ambiente estable (Broderick, 1993; Robichaux, 2007; Schaeperkoetter *et al.*, 2015). El sistema familiar establece límites con el exterior, lo cual proporciona estabilidad y permite la organización de las interacciones entre los miembros de la familia (Schaeperkoetter *et al.*, 2015). Según Collins *et al.* (2012), el sistema familiar funciona continuamente de forma abierta y cerrada, es decir, ningún sistema familiar es puramente un sistema abierto o un sistema puramente cerrado; los sistemas familiares que se

acercan más al sistema abierto son más influenciados por el exterior, contrario a los que se acercan más al sistema cerrado que son más aislados y autónomos. Sin embargo, los sistemas complejos son abiertos, puesto que carecen de límites definidos y realizan intercambios con el exterior (García, 2006).

### 3.1.3. Sistemas complejos

La comprensión del mundo está limitada, dado que la naturaleza está compuesta de sistemas complejos (Holling, 2001). La complejidad asociada a sistemas está relacionada con la imposibilidad de considerar aspectos particulares de un fenómeno, proceso o situación a partir de una disciplina específica; por tanto, un sistema complejo es la representación de un recorte de la realidad que se conceptualiza como una totalidad organizada, en la que los elementos no son separables (García, 2006). Por lo que, toda modificación de la interacción no lineal de los elementos genera reorganizaciones o una alteración total del sistema, lo que constituye uno de los problemas que dificultan el estudio de la dinámica de los sistemas complejos (Köppen *et al.*, 2005; García, 2006).

El reduccionismo con su estructura disciplinaria ha permanecido en la humanidad durante los últimos cuatro siglos, el cual ha sido la base para el desarrollo de la mayor parte de la ciencia, con avances en todos los campos del conocimiento; sin embargo, para poder estudiar la realidad de los sistemas complejos, se debe adoptar una perspectiva expansionista que aborde el problema o situación de forma global (Laguna-Sánchez *et al.*, 2016).

### 3.1.4. Interdisciplina

El término interdisciplina tuvo su auge en los años setenta del siglo XX (Köppen *et al.*, 2005). El estudio de sistemas complejos requiere de la investigación interdisciplinaria (García, 2006), puesto que el sistema como un todo no se puede representar con la suma de las partes, sino de forma integrada (Laguna-Sánchez *et al.*, 2016); cuya investigación requiere de un marco de referencia y metodológico común que permita definir la problemática bajo un mismo enfoque, resultado de la especialización de los miembros del equipo de investigación, además de considerar

las interacciones entre los fenómenos de diferentes dominios (García, 2006). Por tanto, la colaboración en un estudio interdisciplinario involucra traspasar las fronteras disciplinarias, puesto que, los especialistas estudian las otras disciplinas para lograr la comprensión mutua, pero sin perder la identidad de su disciplina; no obstante, también requiere entender la conexión de conocimientos entre disciplinas, lo cual conduce al surgimiento de significados e interrogantes que los colaboradores no hubieran podido desarrollar desde sus disciplinas (Köppen *et al.*, 2005; Laguna-Sánchez *et al.*, 2016). Sin embargo, los equipos de investigación son multidisciplinarios, no interdisciplinarios, dado que la metodología utilizada para el estudio de un sistema complejo es la que es interdisciplinaria (García, 2006).

### **3.2. Saberes**

Los saberes (locales, campesinos, culturales, tradicionales, populares, autóctonos) son conocimientos adquiridos de forma informal. Estos conocimientos son diferentes a los que se construyen en la ciencia (Pérez-Avilés *et al.*, 2015). Los saberes son aquellas habilidades prácticas utilizadas para manejar los cultivos en condiciones específicas (Šūmane *et al.*, 2018). Tal conocimiento se construye a partir de un sistema basado en experiencias en el campo o el dialogo con otras personas, tales como otros productores y profesionales (Dawoe *et al.*, 2012); cuyos conocimientos se van acumulando y seleccionando a lo largo de los años de acuerdo al mejor aprovechamiento de los recursos (Hernández-Xolocotzi and Ramos-Rodríguez, 1977). Por tanto, el conocimiento local es una construcción social (Nguyen *et al.*, 2019). Este conocimiento local es un elemento crucial para el desarrollo de las comunidades y podría ayudar a erradicar la pobreza (Gartaula *et al.*, 2020). Los saberes locales permiten la autosuficiencia alimentaria, incluso en condiciones adversas (Gómez-Espinoza and Gómez-González, 2006). Los saberes transmitidos de generación en generación permiten conservar los recursos vegetales en la comunidad de San Bernardino Tepenene, lo cual es importancia para la sostenibilidad y erradicación del hambre en la comunidad; sin embargo, las generaciones nuevas no preservan los saberes debido a factores socioeconómicos diferentes (Pérez-Avilés *et al.*, 2015).

Dentro de los saberes agrícolas, las personas del medio rural tienen los conocimientos y habilidades necesarias para realizar las actividades relacionadas con los cultivos. Estos conocimientos abarcan cuestiones relacionadas con el ambiente, taxonomías y manejo agrícola (Gutiérrez-Rangel *et al.*, 2011). Además, saben cómo racionar los alimentos producidos y guardar lo necesario para el siguiente ciclo agrícola, tales como semillas y forrajes para la alimentación animal (González Santiago and Fernández Reynoso, 2009). Por tanto, tal conocimiento es tan amplio, lo que podría permitir un mejor aprovechamiento de recursos (Ríos-Reyes *et al.*, 2017).

El conocimiento construido desde tiempos prehispánicos ha permitido utilizar diversas plantas (Manzanero-Medina *et al.*, 2020). Cinco mil especies de plantas en México tienen un uso potencial; las plantas silvestre destacan entre las familias botánicas incluidas en esta gran cantidad de especies (Casas *et al.*, 2016; Vibrans, 2016). Varias plantas silvestres han sido utilizadas como alimento (Gutiérrez-Rangel *et al.*, 2011). La cantidad reportada actual de plantas comestibles silvestres en México es de 244 especies (Mapes and Basurto, 2016). Los quelites (vegetales tiernos, plantas jóvenes, brotes de algunos árboles y ciertas flores comestibles) son un alimento importante para la seguridad alimentaria en México, debido a su valor nutricional (Manzanero-Medina *et al.*, 2020). Saberes sobre la flora silvestre se documentaron en el municipio de Ayoquezco de Aldama, Oaxaca, donde se identificaron 200 especies de plantas de las cuales 15% tiene un uso alimenticio (Arrazola-Guendulay *et al.*, 2018). Más de 54 especies de plantas comestibles se identificaron en una comunidad en estado de muy alta marginación en la Huasteca Potosina, San Luis Potosí (Cilia-López *et al.*, 2015). Varias plantas silvestres han sido incorporadas como alimento en la Mixteca Poblana (Gutiérrez-Rangel *et al.*, 2011). Veintiocho y veintitrés especies de plantas silvestres alimenticias se identificaron en las comunidades de San Lucas Huajotitlán y Buenavista de Juárez en la Mixteca Poblana, respectivamente; de las cuales las más valoradas fue la ciruela (*Spondias purpurea* L.), pitaya (*Stenocereus stellatus*), cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.), nanche (*Byrsonima crassifolia* L.), guaje (*Leucaena* spp.), fraile (*Porophyllum* spp.), guamúchil (*Pithecellobium dulce*) y la especie no identificada

huajocote (Martínez-Pérez *et al.*, 2012). El cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc) es una planta ampliamente producida en la Mixteca Baja Poblana debido a su potencial económico (Gutiérrez-Rangel *et al.*, 2011).

### **3.3. Características de la familia rural**

La agricultura familiar se llama también pequeña agricultura y se caracteriza por tener recursos limitados (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017). La superficie de la explotación en las unidades agrícolas familiares en América Latina y el Caribe es menor a 2 hectáreas (FAO, 2014, 2015b); no obstante, tales unidades en México tienen una superficie promedio de 4.7 hectáreas (SAGARPA and FAO, 2012; CEDRSSA, 2014). La explotación de la superficie agrícola permite proveer un sustento a la familia y no requiriéndose mano de obra asalariada, ya que es atendida con los mismos integrantes de la familia (Maletta, 2011). Los tres tipos de agricultura familiar son de subsistencia, transición y consolidada; la agricultura familiar de subsistencia es de autoconsumo y requiere de un empleo asalariado o actividad que proporcione un ingreso que haga frente a los recursos productivos e ingresos insuficientes, la de transición es de autoconsumo-comercio y cuenta con recursos productivos pero tiene problemas para generar excedentes, la consolidada tiene recursos productivos con mayor potencial y genera excedentes que puede colocar en un mercado mayormente establecido (FAO and BID, 2007). La agricultura familiar juega un papel relevante en la seguridad alimentaria rural (FAO, 2015a). Incluso, diversos estudios realizados en América Latina y el Caribe señalan que la agricultura familiar tiene gran importancia en la erradicación del hambre, combate a la pobreza, adopción de sistemas sostenibilidad agrícolas, conservación de la biodiversidad, tradiciones culturales y empleo agrícola (FAO, 2014).

El porcentaje registrado de unidades agrícolas familiares en México es de 75.7% (FAO, 2014). De estas unidades, 91.1% tienen acceso a tierra de cultivo propia; de las cuales, el 83.7% realizan la siembra de cultivos durante la temporada de lluvia (SAGARPA and FAO, 2012). De igual forma y dadas las condiciones climáticas en San Bernardino Tepehualtepec, la agricultura solo puede realizarse durante la temporada de lluvia; sin embargo, algunas familias de la comunidad cuentan con

invernaderos y cisternas que se construyeron con el Programa Especial para la Seguridad Alimentaria, PESA-México, a cuyas estructuras se les incorporaron ecotecnias para la captación de agua y riego por goteo con el apoyo económico de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y de un investigador del Departamento Universitario para el Desarrollo Sustentable de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (Pérez-Avilés *et al.*, 2015).

La agricultura ha dejado de utilizar una cantidad mayor de recursos naturales gratuitos para utilizar una cantidad creciente de recursos fósiles (González-Ulibarry *et al.*, 2017). Incluso, desde la segunda parte de siglo XX, los programas gubernamentales han promovido los monocultivos, la mecanización, el mejoramiento de variedades y el uso de agroquímicos (Sánchez-Morales and Hernández-Ortiz, 2014; Ebel *et al.*, 2017). Sin embargo, las unidades de producción agrícola familiares tienen rendimientos bajos a pesar del uso generalizado de agroquímicos (SAGARPA and FAO, 2012).

Las familias rurales dependen de los animales para subsistir, dado que proporcionan una fuente de alimentos, ingreso, fuerza de trabajo y de estiércol (FAO, 2014). La producción animal principal en la Mixteca Poblana es la de caprinos, siguiéndole la de caprinos-bovinos y caprinos-ovinos (Hernández *et al.*, 2011). La producción animal en San Bernardino Tepehene consiste de cabras principalmente, pero también de bovinos, caballos, pollos, gallinas y guajolotes (Pérez-Avilés *et al.*, 2015).

El traspatio tiene una importancia importante para las familias rurales puesto que proporciona alimentos, ahorros e ingresos (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017). Varias plantas han sido identificadas en los traspatios familiares. La mayor parte de las plantas identificadas en la comunidad de San Salvador, Xiutetelco, Puebla fueron los árboles frutales, siguiéndole en porcentaje las plantas ornamentales, hortalizas y plantas aromáticas (González Ortiz *et al.*, 2014). Un estudio realizado en la comunidad de Santa María Nepopualco del municipio de Huejotzingo Puebla, registró 130 plantas de traspatio de las cuales las plantas ornamentales representaron un número mayor, seguido de las frutales, medicinales, árboles y arbustos, hortalizas, condimentos, cactáceas y forraje (Guarneros-Zarandona *et al.*,

2014). El traspatio y los productos de la milpa pueden proporcionar de 19.4% a 119.1% de las necesidades alimenticias (Salazar-Barrientos and Magaña-Magaña, 2016). Más de 20 especies de frutales (aguacate, durazno, café, capulín, ciruela, pera, plátano, chirimoya, limón, manzana, naranja, nogal, guinda, zapote, jinicuil) y por lo menos 47 plantas perenes (maíz, frijol, chile, ornato y medicinales, principalmente) se registraron en los municipios de Chichiquila, Quimixtlán y Chilchotla, Puebla, de las cuales el 75% se destina al autoconsumo (Olvera-Hernández *et al.*, 2017). Algunas de las familias de la comunidad de San Bernardino Tepehene cuentan con plantas medicinales y frutales en sus traspatios (Pérez-Avilés *et al.*, 2015).

Los principales productos cíclicos y perennes producidos en la agricultura familiar, según la proporción de superficie sembrada, son el maíz, frijol, sorgo, café, pastos y naranja (SAGARPA and FAO, 2012). La comunidad de San Bernardino Tepehene lleva a cabo la producción de los cultivos fundamentales del sistema milpa, además de haba (Pérez-Avilés *et al.*, 2015). El sistema milpa es un cultivo compuesto fundamentalmente de la asociación de maíz (*Zea mays*), calabaza (*Cucurbita spp.*) y frijol (*Phaseolus spp.*) (Watters, 1971; Ebel *et al.*, 2017); sin embargo, diferentes plantas anuales y perenes pueden ser incluidas (Ebel *et al.*, 2017). El sistema milpa varía de acuerdo al ambiente agrícola y la cultura (Birol *et al.*, 2007) y juega un papel importante en la preservación de la biodiversidad (Pérez-García and del Castillo, 2016). El sistema milpa en México garantiza la alimentación familiar, pero en algunas ocasiones también el sustento económico, dado que los excedentes en la producción generan un ingreso económico (Sánchez-Morales and Hernández-Ortiz, 2014).

La erradicación de la pobreza es uno de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de las Naciones Unidas (UN, 2015). Sin embargo, la pobreza afecta las áreas rurales principalmente, ya que aproximadamente 80% de la pobreza mundial está concentrada en estos lugares (Bank World, 2020). La pobreza se presenta cuando una persona tiene un ingreso insuficiente para adquirir los bienes y servicios necesarios para satisfacer sus necesidades, además de tener al menos una carencia social (rezago educativo, acceso a servicios de salud, acceso a la

seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación); sin embargo, la pobreza es extrema cuando la persona tiene tres o más carencias sociales y su ingreso es menor que el de la línea de bienestar mínimo (CONEVAL, 2017). Por otra parte, la marginación es la ausencia de oportunidades de desarrollo y la incapacidad para adquirirlas debido a un conjunto de desventajas sociales (CONAPO, 2012). El valor anual promedio de la línea rural de pobreza por ingresos (incluye la canasta alimentaria y no alimentaria) para el año 2018 fue de \$MX1937.58 (CONEVAL, no date). Este dato es utilizado para valorar la carencia económica mediante la comparación del ingreso de los hogares rurales con el valor de una canasta de consumo básica (CONEVAL, 2012). Un porcentaje bajo (7.7%) de los habitantes del municipio de Tzicatalcoyan, al cual pertenece San Bernardino Tepenene, carece de acceso a alimentos (CONEVAL, 2017), pero la población vive en un estado de marginación alto (CONAPO, 2016).

### **3.4. El clima en la agricultura**

El crecimiento de la agricultura ha sido limitado por los eventos climáticos recurrentes (CEDRSSA, 2014). La productividad baja es el problema principal de las unidades de producción agrícola familiar, cuyas causas son la vulnerabilidad climática, falta de capacitación, capital bajo, nivel tecnológico bajo (SAGARPA and FAO, 2012; Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017), además de la integración débil de cadenas productivas y la degradación de los recursos naturales (SAGARPA and FAO, 2012). De acuerdo a esto, el clima adverso es uno de los factores que afecta el crecimiento de la agricultura familiar. Cerca del 16% de las unidades de producción agrícola familiar fueron afectadas por efecto del clima adverso en 2006, mientras que el 40.4% fueron afectadas en 2011 (SAGARPA and FAO, 2012). La caracterización del clima permite mejorar la planificación y toma de decisiones (Giménez *et al.*, 2004). Los fenómenos climáticos presentes en las unidades de producción agrícola familiar han sido las lluvias extremas, sequías, granizadas, heladas o nevadas (SAGARPA and FAO, 2012). Además de las temperaturas por encima del umbral de los 40°C que ocasionan estrés por calor, lo cual afecta el crecimiento de la mayoría de plantas (excepto de las plantas xerófilas que soportan

temperaturas mayores a los 50°C), temperaturas entre 0 y 15°C que ocasionan estrés por frío y, menores de 0°C que ocasionan estrés por congelación (Azcón-Bieto and Talón, 2013). La falta de agua puede ocasionar estrés hídrico debido a que la cantidad de agua transpirada por la planta excede a la cantidad absorbida por su raíz (Munns and Tester, 2008). Las plantas pueden aclimatarse al estrés hídrico y de temperaturas extremas; sin embargo, la brusquedad del clima extremo puede causar efectos mayores en las plantas que los ocasionados por cambios graduales, ya que no hay tiempo para los procesos de aclimatización (Walter *et al.*, 2013). El efecto principal del estrés hídrico es la reducción del rendimiento (Ferreira *et al.*, 2021). El estrés hídrico ocasiona efectos negativos en el grano, hojas, tallo y raíz de la planta (Bänziger *et al.*, 2012). El desarrollo inadecuado de la espiga de maíz (espiga abortada, en forma de banana, múltiples, enfermas, restringidas, expuestas, estriadas de rojo, sin granos en la punta, y con un número incompleto de grano) se relaciona con un bajo rendimiento, el cual se puede producir por una aplicación incorrecta de herbicidas y fungicidas, daños por insectos y enfermedades, deficiencias nutricionales y condiciones climáticas, tales como granizadas, inundaciones, temperaturas altas y estrés hídrico (Ciampitti, 2014). El número de granos y espigas de maíz se reduce cuando la planta se encuentra bajo estrés hídrico antes o durante la floración (Bolaños and Edmeades, 1990). Una reducción del número de granos de maíz es debida a una falta de polinización, fallas en la fertilización o aborto, lo cual es debido a estrés hídrico y térmico durante la floración, principalmente (Ciampitti, 2014). La temperatura durante la floración y la etapa temprana de llenado de grano de maíz es un factor importante en el número y peso del grano, puesto que una alta temperatura durante la etapa temprana de llenado de grano de maíz puede provocar el aborto del grano de maíz (Dong *et al.*, 2021). El estrés hídrico en el maíz, además de afectar la formación de grano, también ocasiona una disminución del desarrollo foliar (Villalobos-González *et al.*, 2016). El umbral máximo de temperatura en el maíz es de 36°C a 39.2°C dependiendo de los genotipos y las etapas (Sánchez *et al.*, 2014).

Algunos de los efectos de una temperatura alta (>30°C) en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum*. Mill) es la reducción de la viabilidad del polen y la

cantidad de flores, cambios morfológicos, afectación de la fructificación y frutos amarillentos; mientras que una temperatura baja ( $<10^{\circ}\text{C}$ ) ocasiona la deformación del fruto, compactación de la planta (por entrenudos cortos) y también la reducción de la viabilidad del polen y frutos amarillentos (Jaramillo-Noreña *et al.*, 2006; Escalona *et al.*, 2009).

### **3.5. Seguridad alimentaria y nutrición**

La erradicación del hambre es uno de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de las naciones unidas (UN, 2015). Sin embargo, el porcentaje de personas con inseguridad alimentaria grave en el mundo y América Latina aumentó en 2016 respecto al año anterior 2015, dado que el porcentaje fue de 9.30% y 6.40% en 2016, respectivamente, los cuales fueron 0.5% y 1.6% mayores que el valor del 2015, respectivamente; aumento que es motivo de una gran preocupación y un gran reto para los compromisos internacionales de acabar con el hambre en el 2030 (FAO *et al.*, 2017). No obstante, la inseguridad alimentaria siguió aumentando hasta alcanzar en 2020 un porcentaje de personas con inseguridad alimentaria severa en el mundo y América Latina y el Caribe de 11.9% y 14.2%, respectivamente; y lo que es peor, la fracción de personas con inseguridad alimentaria moderada y severa en el mundo y América Latina y el Caribe en 2020 fue de 30.4% y 40.9% (FAO *et al.*, 2021). En el caso de México, la inseguridad alimentaria moderada y severa ha permanecido constante durante los últimos años, con porcentajes que fluctúan desde el 20.1% en el 2016 hasta 24.8% en 2010 (CONEVAL, 2021).

La Cumbre Mundial sobre la Alimentación se celebró en 1996 debido a la persistente desnutrición generalizada y la preocupación sobre la capacidad de la agricultura para satisfacer las necesidades alimenticias en el futuro, lo cual permitió precisar la definición de seguridad alimentaria (Gordillo and Méndez-Jerónimo, 2013). La seguridad alimentaria se presenta cuando todas las personas tienen acceso físico y económico permanente a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos con el fin de satisfacer sus necesidades y preferencias alimenticias y así tener una vida activa y sana (FAO, 1996). Dentro de esta definición se pueden identificar cuatro dimensiones: 1) disponibilidad física de alimentos (existencia o abastecimiento

proveniente de la producción, intercambio comercial o importaciones y la donación de alimentos), 2) acceso económico y físico a alimentos (ingreso utilizado para comprar alimentos y su relación con el precio en el mercado), 3) utilización biológica de los alimentos (ingesta y asimilación suficiente de los alimentos) y 4) estabilidad de las anteriores dimensiones (seguridad alimentaria en todo momento) (FAO, 2008). La seguridad alimentaria de las zonas rurales, sobre todo las de difícil acceso, depende de la producción agrícola (disponibilidad física de alimentos) (Pérez-Jiménez *et al.*, 2007). De acuerdo a las dimensiones de la seguridad alimentaria, la seguridad alimentaria podría ser afectada por un aumento en el precio de los alimentos, mayor presión demográfica, contaminación y degradación de los sistemas de producción, producción deficiente, distribución inadecuada de los alimentos, mercados ineficientes, uso de productos agropecuarios para fines no alimentarios o las crisis financieras y energéticas (Martínez-Salvador, 2016).

La seguridad alimentaria familiar se define como el acceso de la familia a una cantidad suficiente de alimentos adecuados y de calidad para satisfacer las necesidades de sus miembros durante el año; cuyos alimentos son principalmente obtenidos de la producción y compra de alimentos y, en menor medida, de donaciones (Latham, 2002). La inseguridad alimentaria se presenta cuando un individuo, hogar o población carece de alguna de las dimensiones de la seguridad alimentaria (CONEVAL, 2019a). Los hogares con algún grado de pobreza tienen un mayor riesgo de padecer inseguridad alimentaria, tal es el caso de las familias rurales que no cuentan con tierra, tienen superficies de producción pequeñas de acuerdo al tamaño de la familia o que reciben ingresos insuficientes (Latham, 2002). Muchas familias en estado de pobreza viven en zonas ecológicamente vulnerables, cuya condición se deteriora aún más a causa de prácticas desesperadas o inadecuadas (FAO, 2003). La inseguridad alimentaria tiene formas y grados de gravedad diferentes (Latham, 2002; FAO, 2012). La gravedad de la inseguridad alimentaria puede ser leve (existe preocupación e incertidumbre por el suministro de alimentos), moderada (las personas reducen la cantidad de alimentos durante cierto tiempo por carecer de dinero u otros recursos, lo que afecta el consumo variado de alimentos) o severa (las personas no tiene alimentos, sufren hambre y,

en caso extremo, no han comido en días) (Pérez-Escamilla *et al.*, 2007; FAO, 2012; FAO *et al.*, 2019). Por otro lado, la inseguridad alimentaria puede presentarse de forma crónica, transitoria o estacional cuando el alimento es casi siempre escaso, la situación es temporal o el alimento es insuficiente cada o casi todos los años, respectivamente (Latham, 2002). El combate a la inseguridad alimentaria requiere identificar las poblaciones más vulnerables, sin embargo, aunque los países en desarrollo tienen una alta prevalencia de inseguridad alimentaria, el número de hogares afectados, la severidad y su ubicación no se conoce por completo (FAO, 2012). Al menos cinco métodos han sido utilizados para medir la seguridad alimentaria (CONEVAL, 2019b). Cinco métodos de medición de la inseguridad alimentaria destacaron en el Simposio científico internacional “Medición y Evaluación de la Carencia de Alimentos y la Desnutrición”, llevado a cabo en el año 2002 en Roma: 1) hojas de balance de alimentos para estimar la subnutrición, 2) encuestas de gastos e ingresos, 3) encuesta de consumo individual, 4) información antropométrica para conocer el estado nutricional y 5) métodos basados en la percepción o escalas basadas en las experiencias (Pérez-Escamilla *et al.*, 2007; FAO, 2012). Los métodos 1 a 4 son costosos y bastante extensos (FAO, 2012), mientras que las escalas basadas en las experiencias son baratas y rápidas de aplicar (Pérez-Escamilla *et al.*, 2007). Además, estos últimos métodos consideran en su evaluación la cantidad, calidad, seguridad, adquisición, aceptabilidad social relacionada con la alimentos, así como la seguridad alimentaria en niños y adultos; la Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA) es uno de los instrumentos de medición basados en las experiencias de los hogares, cuyo método ha demostrado ser válido y confiable (FAO, 2012).

La carencia por acceso a la alimentación es una de las dimensiones que el CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) considera en la medición multidimensional de la pobreza, la cual se enfoca en las personas que tienen los dos grados más graves de inseguridad alimentaria según la escala ELCSA propuesta por Pérez-Escamilla *et al.* (2007) (CONEVAL, 2019a). Por tanto, la carencia por acceso a la alimentación es cuando se presenta inseguridad alimentaria moderada o severa; no obstante, la carencia por acceso a

la alimentación nutritiva y de calidad es cuando se presenta inseguridad alimentaria moderada o severa, o se presenta una limitación en el consumo de alimentos; es decir, la carencia por acceso a la alimentación nutritiva se presenta cuando existe carencia por acceso a la alimentación y/o limitación en el consumo de alimentos (CONEVAL, 2019b). El CONEVAL ha adaptado la escala ELCSA al lenguaje y costumbres de México, dando lugar a la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria (EMSA) (INEGI, 2015). La escala ELCSA integra un cuestionario de 15 preguntas que involucra cuestiones relacionadas con el tiempo, la edad, situaciones por falta de dinero, acceso a los alimentos sin la compra de ellos, recursos que contribuyen a la disponibilidad de alimentos y las donaciones (FAO, 2012).

La aplicación de la escala ELCSA en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino 2016 señaló que 46.30%, 20.60% y 11.20% de las familias rurales tuvieron un grado leve, moderado y severo de inseguridad alimentaria (CONEVAL, 2019a). No obstante, si la carencia por acceso a la alimentación es considerada para el municipio de Tzicatlacoyan, un porcentaje bajo de los habitantes del municipio (7.70%) tiene inseguridad alimentaria moderada y severa (CONEVAL, 2017).

La nutrición es la ciencia de la ingesta y utilización de alimentos relacionada con la salud (Lutz *et al.*, 2015), lo cual abarca lo social y biológico (Otero-Lamas, 2012). Los alimentos ingeridos son sometidos a un proceso de digestión que permite que los nutrientes puedan ser transportados desde el intestino hacia la sangre y posteriormente hacia las células de todos el cuerpo, donde puedan ser utilizados para satisfacer las necesidades energéticas y llevar a cabo procesos de mantenimiento y crecimiento en el cuerpo (Lutz *et al.*, 2015). Los carbohidratos, lípidos y proteínas son la fuente de energía principal de muchos organismos, pero también pueden desempeñar otras funciones biológicas: estructural, regulación (hormonas y enzimas), aislante térmico, protección, transporte, como mensajeros, cofactores, pigmentos, emulsionantes y moléculas del sistema inmune (Curtis *et al.*, 2001; Nelson and Cox, 2005; Lutz *et al.*, 2015). Las proteínas pueden comprender 50% del peso seco, incluso más; lo que las convierte en las más abundantes (Curtis *et al.*, 2001). La función principal de las proteínas es estructural, transporte,

enzimática, hormonal y en forma de moléculas del sistema inmune (Otero-Lamas, 2012) y solo se utilizan como fuente de energía cuando la fuente de energía en forma de carbohidratos y lípidos está ausente, o cuando están presentes en exceso (Latham, 2002). La deficiencia de proteína ocasiona masa y fuerza muscular disminuida, pérdida de peso, agotamiento, retardo del crecimiento, déficit en el desarrollo psicológico, alteración en la reparación del organismo y en casos extremos marasmo (pérdida de peso y debilidad extrema) y kwashiorkor (edema abdominal) (Latham, 2002; Lutz *et al.*, 2015). Las vitaminas y minerales son micronutrientes, los cuales el organismo necesita en cantidades pequeñas (Otero-Lamas, 2012; FAO *et al.*, 2017) y están involucrados en varias funciones corporales, pero no son una fuente de energía (Lutz *et al.*, 2015). La Tabla 3.1 muestra la función, fuente común de alimento y signos de deficiencia o exceso de la mayoría de los micronutrientes, o por lo menos los que se tratan en la tabla de composición de alimentos utilizada en este trabajo (INCAP and OPS, 2012).

**Tabla 3.1.** Función, fuente y signos de deficiencia o exceso de la mayoría de micronutrientes.

Micronutriente	Función	Fuente común de alimento	Signos de deficiencia	Signos de exceso	Referencia
Inorgánicos:					
Calcio	Estructura de huesos y dientes, contracción muscular, coagulación de la sangre, conducción nerviosa	Lácteos, tortilla nixtamalizada, Salmon, sardina, almeja, ostra	Osteoporosis, tetania (temblores musculares), raquitismo	Calcificación de tejido blando	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Hierro	Componente de la hemoglobina	Hígado y carne de res, almeja, ostra, lima, haba, frijol, vegetales de hoja verde oscura	Fatiga, aturdimiento, dificultad para respirar, anemia hipocrómica y microcítica	Hemosiderosis, hemocromatosis	(Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Magnesio	Involucrado en la síntesis de ADN y proteína, influye en la contracción del musculo cardiaco y liso, asociado con el ADP Y ATP	Vegetales de hoja verde, leche cacahuete, oleaginosas, legumbres, café, cocoa, mariscos	Daño a la función del sistema nervioso central, tetania	Debilidad, respiración decaída, paro cardiaco	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Fosforo	Estructura de huesos y dientes, componente de ácidos nucleicos, ADP, ATP, amortiguadores de pH y enzimas	Carne roja, aves, lácteos, huevo, nueces, leguminosas, cereales	Excreción incrementada de calcio, pérdida de hueso, debilidad muscular	Tetania, convulsiones, insuficiencia renal	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Potasio	Conducción de impulsos nerviosos, contracción muscular	Plátano, melón, calabaza, vegetales de hoja verde, leguminosas	Hipocalemia	Hipercalemia	(Lutz, Mazur and Litch, 2015)

Sodio	Balance de fluidos, transmisión de impulsos electroquímicos en la membrana de músculos y nervios	Sal de mesa, productos procesados, lácteos	Hiponatremia	Hipernatremia	(Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Zinc	Componente de un gran número de enzimas involucradas en la síntesis de ácidos nucleicos, necesario para la formación de colágeno, cumple un papel en la inmunidad	Carne roja, ostra, aves, cerdo, lácteos, granos enteros	Falta de crecimiento, hipogonadismo, retardo en la cicatrización de heridas, visión nocturna deteriorada, gusto deteriorado, maduración sexual retrasada	Deficiencia de cobre, respuesta inmune suprimida	(Lutz, Mazur and Litch, 2015)
<b>Orgánicos:</b>					
Vitamina C (Ácido ascórbico)	Antioxidante, formación de colágeno, facilitación de la absorción de hierro	Cítricos, brócoli, col, pimiento verde y rojo, melón, fresa, kiwi, papaya	Escorbuto, membranas mucosas sangrantes, trastornos en la cicatrización, extremos ablandados de huesos largos, pérdidas dentales, sangrado interno, sequedad de ojos y boca, pérdida de cabello, sequedad de piel	Escorbuto de rebote	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Vitamina B1 (Tiamina)	Coenzima en el metabolismo de azúcares y aminoácidos	Cerdo, hígado de res, frijol negro, Salmon, germinado de trigo	Beriberi, anorexia, pérdida de peso, debilidad, atrofia muscular, neuropatía periférica, insuficiencia cardíaca derecha, encefalopatía	No documentado	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Vitamina B2 (Riboflavina)	Coenzima en el metabolismo de proteínas	Lácteos, huevo, carnes, hígado	Lesiones en labios y boca, dermatitis seborreica, anemia normocítica	No documentado	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Vitamina B3 (Niacina)	Coenzima en la producción de energía, participa en la síntesis de ácidos grasos y hormonas esteroideas	Hígado, tuna, carne roja, pescado, pollo, granos enteros, café, té	Diarrea, demencia, dermatitis en cara, cuello, manos y pies	-	(Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Vitamina B6 (Piridoxina)	Coenzima en el metabolismo de aminoácidos	Pechuga de pollo, lomo de res, Salmon, cereales enteros, plátano	Lesiones en la boca, neuropatía periférica, confusión, anemia hipocrómica, anemia microcítica, convulsión en niños	Ataxia con neuropatía sensorial	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015)
Vitamina B12 (cobalamina)	Síntesis de ácidos nucleicos, metabolismo de carbohidratos, aminoácidos y ácidos grasos; síntesis y mantenimiento de mielina (función del sistema nervioso), producción de hormonas	Carne roja, pollo, pescado, lácteos, huevo	Anemia megaloblástica, fatiga, palidez, dificultad para respirar, entumecimiento y hormigueo de extremidades, trastornos en la forma de caminar, trastornos neurológicos (pérdida de memoria y demencia)	No documentado	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015; Marcel, 2018)
Vitamina A	Visión, diferenciación de células epiteliales	Zanahoria, espinaca, calabaza, col, yema de huevo, papa, chabacano, melón, brócoli	Engrosamiento anormal y sequedad de la superficie externa del ojo (conjuntiva), ceguera temprana, ceguera nocturna, susceptibilidad a infecciones, retardo del crecimiento, infertilidad, incremento de la presión intracraneal y afectación de piel, cabello y uñas	Enrojecimiento de piel, descamación de piel, náusea, vomito, fatiga, desmayo, migraña	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015; Cabrera, 2019)

Ácido fólico	Esencial para la síntesis de ADN, participa en la formación del grupo hemo de la hemoglobina	Hígado, guisantes secos, frijol, lenteja, germinado de trigo, cacahuete, espárragos, lechuga, col	Anemia megaloblástica, lengua roja brillante, fatiga, debilidad, dificultad para respirar, palpitaciones	No documentado	(Otero-Lamas, 2012; Lutz, Mazur and Litch, 2015)
--------------	----------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------	--------------------------------------------------

El consumo de frutas y verduras es fundamental para garantizar una dieta diversificada y nutritiva; sin embargo, las dietas tradicionales de todo el mundo han sido reemplazadas por alimentos con un contenido alto de grasa (OMS, 2003). La doble carga de la malnutrición está presente en una gran parte de los países con ingresos medios y bajos (Shamah-levy *et al.*, 2017). La doble carga de la malnutrición se presenta cuando la alimentación insuficiente (subalimentación) y la obesidad (causada por una limitada disponibilidad de alimentos saludables) coexisten, la cual ocasiona enfermedades crónicas (diabetes, hipertensión y cardiovasculares) y afecta a las personas más pobres y menos educadas, ya que son más vulnerables a los precios bajos, ofertas y publicidad relacionada con los alimentos (FAO, 2014).

### 3.6. Sostenibilidad

La “sostenibilidad es una palabra que es comúnmente usada pero rara vez entendida” (Sumner, 2016). Este concepto surgió en la Conferencia de Medio Ambiente Humano de las Naciones Unidas de Estocolmo, 1972; donde se estableció que las necesidades humanas estaban directamente conectadas a los recursos disponibles en la naturaleza, por lo que en la década de los ochentas la Unión Internacional para la Conservación de los Recursos Naturales (siglas en ingles IUCN) y la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo (siglas en ingles WCED) tuvieron el objetivo de equilibrar adecuadamente tales necesidades con los recursos naturales, lo cual resulto en la introducción del concepto de desarrollo sostenible, publicado por la WCED en 1987 en el informe *Nuestro Futuro Común*, cuyo concepto integró el desarrollo económico, la gestión y la protección de los recursos naturales, y la equidad social (El-Hagggar and Samaha, 2019). El desarrollo sostenible se definió como el “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus

propias necesidades”; cuya definición tiene dos partes clave: 1) las necesidades y 2) la idea de las limitaciones impuestas por la tecnología y la organización social sobre la capacidad del ambiente para satisfacer tales necesidades; no obstante, el desarrollo sostenible no nada más satisface las necesidades de todas las personas, sino también brinda la oportunidad de satisfacer aspiraciones para una mejor vida (WCED, 1987).

De acuerdo a publicaciones recientes que definen el concepto de sostenibilidad, tres tipos o usos del concepto han sido identificados: definiciones teológicas (la sostenibilidad es asumida como un objetivo, propósito o estado ideal de la sociedad), ontológicas (la sostenibilidad es asumida como un comportamiento de un sistema) y como un enfoque (variables o criterios ambientales, económicos y sociales se incorporan en el análisis o diseño de un sistema) (Salas-Zapata *et al.*, 2017).

El termino desarrollo sostenible ha resultado efectivo a lo largo de los años, incluso aún se mantiene hasta nuestros días (El-Hagggar and Samaha, 2019), ya que en 2015, la organización de las Naciones Unidas aprobó una nueva agenda de desarrollo sostenible que abarca las dimensiones económica, social y ambiental, llamada la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se plantean 17 objetivos con 169 metas de carácter integrado e indivisible (UN, 2015), cuyo propósito es poner “fin a la pobreza (sostenibilidad económica), proteger el planeta (sostenibilidad ambiental) y asegurar la prosperidad para todos (sostenibilidad social)” (Dalampira and Nastis, 2019). No obstante, a pesar de los intentos para definir el concepto de sostenibilidad de una forma clara y universalmente valida, los resultados de este esfuerzo han sido diferentes, incluso contrastantes algunas veces (Ulgianti and Brown, 1998), dado que se percibe de manera diferente dependiendo de la perspectiva observada según la disciplina (Ali-Toudert and Ji, 2017). Sin embargo, aunque las interpretaciones del desarrollo económico y social en términos de sostenibilidad varían, la interpretación debe compartir ciertas características generales y derivarse de un consenso sobre el concepto básico de desarrollo sostenible y sobre un amplio marco estratégico para lograrlo (WCED, 1987). Dado esto, hay varios modelos teóricos para comprender el concepto de

sostenibilidad. Ali-Toudert and Ji (2017) reportaron doce modelos recurrentes de la literatura. Sin embargo, el diagrama de Venn, compuesto de los tres círculos de igual tamaño y parcialmente superpuestos que representan la sostenibilidad económica, ambiental y social es el modelo más común para entender la sostenibilidad (Ali-Toudert and Ji, 2017; Dalampira and Nastis, 2019).

El desarrollo implica una transformación progresiva de la economía y la sociedad, pero para que este desarrollo sea sostenible, las políticas de desarrollo deben estar enfocadas a los cambios en el acceso de los recursos naturales y en los costos y beneficios (WCED, 1987). Por tanto, los bienes de vida, tales como el agua, vivienda, educación, atención médica y alimentos (Sumner, 2016), los cuales satisfacen las necesidades humanas, estarán presentes de acuerdo a como sean aprovechados los recursos naturales. Es por ello que, la sostenibilidad está basada en la relación que existe entre la naturaleza y la sociedad, dado el aprovechamiento de recursos naturales para la satisfacción de necesidades humanas, cuya relación debe ser considerada en la evaluación de la sostenibilidad.

### 3.6.1. Estados estacionarios oscilantes y la sostenibilidad

Científicos y políticos creyeron durante varios años que la humanidad podía prosperar mediante el equilibrio entre el suministro y uso de recursos, dado un mejor uso de los recursos y la ausencia de crecimiento (Brown and Ulgiati, 1997; Ulgiati and Brown, 1998). Incluso, Georgescu-Roegen (1975) afirmó que una cantidad finita de recursos solo podría sustentar a una población de forma limitada, después de lo cual la humanidad desaparecería. Sin embargo, el planeta es un sistema autoorganizado que se impulsa con la energía solar, geotérmica y gravitacional (Odum, 1994). La autoorganización es un proceso de uso energético de los sistemas para desarrollar su estructura y organización (Odum, 1996). Basado en este comportamiento, los recursos almacenados se agotan y renuevan continuamente a ritmos diferentes y, la materia se recicla; comportamiento conocido como el estado de pulsaciones y oscilaciones del mundo real; por tanto, la sostenibilidad se refiere a gestionar y adaptarse a las frecuencias de oscilación del capital natural que se desempeñen mejor (Odum, 1994). Además, bajo el paradigma

de estados estacionarios oscilantes, la sostenibilidad no puede ser evaluada considerando si el sistema es o no sostenible, sino que debe ser evaluado considerando un rango continuo de posibles valores oscilantes, desde cero para los sistemas que solo utilizan recursos no renovables, hasta infinito para los sistemas que solo utilizan recursos renovables; por lo que, para medir la sostenibilidad, la primera característica que debe ser considerada es la habilidad para explicar los patrones oscilantes (Ulgiati and Brown, 1998).

### **3.7. Energía**

La energía es una propiedad que puede convertirse en calor (Odum, 1996). El trabajo es una transformación energética conducida por energía potencial que resulta en un cambio de concentración o forma de la energía (Odum, 1994, 1996). La unidad de energía en el sistema internacional es  $[(\text{Kg}) (\text{m}^2) / (\text{s}^2)]$ , la cual recibe el nombre de joule (J); además de esta unidad, se utiliza la caloría (cal), que se define como la energía necesaria para elevar 1 °C la temperatura de 1 gramo de agua y que equivale exactamente a 4.184 J (McMurry and Fay, 2009). Comités internacionales recomiendan que el joule sea utilizado como unidad de energía (Odum, 1996). Sin embargo, es importante considerar que la energía medida a través del calor solo permite reconocer la capacidad de elevar la temperatura de las cosas, cuyo principio puede ser aplicado a motores simples; no obstante, no permite cuantificar el potencial de generar trabajo en los procesos complejos llevados a cabo en la biosfera (Brown and Ulgiati, 2004a, 2004b).

#### 3.7.1. Leyes de la termodinámica

##### Primera ley de la termodinámica

La energía adopta muchas formas debido a que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma de una forma a otra; por tanto, la energía total de un sistema y sus alrededores es constante (McMurry and Fay, 2009). Una transformación de energía es un proceso que genera trabajo, lo cual convierte uno o más tipos de energía disponible (exergía) en un tipo de energía diferente (Brown *et al.*, 2004).

### Segunda ley de la termodinámica

La entropía total de un sistema y sus alrededores aumenta en todo proceso espontáneo (McMurry and Fay, 2009). Por tanto, cuando la energía disponible (exergía) se transforma de una forma a otra en cualquier proceso energético, una parte de la energía inicial disponible se degrada (Odum, 1996). Es decir, la cantidad de energía disponible de un tipo utilizada en un proceso de transformación de energía genera una menor cantidad de energía disponible de otro tipo, dada la degradación de energía (Odum, 1996; Brown *et al.*, 2004).

### Tercera ley de la termodinámica

La entropía a 0°K es cero (McMurry and Fay, 2009). La entropía es cero, puesto que, en el cero absoluto, la energía calorífica está ausente.

### Propuesta de la cuarta ley de la termodinámica. El principio de la potencia máxima

De acuerdo al principio de potencia máxima de Lotka (1922a, 1922b), los sistemas autoorganizados se desarrollan de tal manera que aportan la mejor contribución energética posible, dado que consumen más energía disponible y utilizan esta energía para retroalimentar el sistema; además de que las energías alternativas son utilizadas de manera más eficiente (Odum *et al.*, 1988; Odum, 1996; Odum *et al.*, 2000). Por tanto, la autoorganización permite maximizar la potencia (flujo de energía útil por unidad de tiempo) del sistema mientras se refuerza la red de flujos de energía (Odum *et al.*, 1988; Odum, 1996; Odum *et al.*, 2000; Brown *et al.*, 2004). El sistema que alcanza la potencia máxima podrá utilizar la energía disponible para la satisfacción de sus necesidades y, a su vez, maximizar la potencia de un sistema mayor, por ejemplo, un árbol utiliza la energía solar para aumentar la biomasa vegetal, con la que puede captar aún más energía solar para sintetizar nutrientes que pueden ser utilizados por otros organismos (Odum *et al.*, 1988).

### Propuesta de la quinta ley de la termodinámica. Jerarquía energética

Una jerarquía cuenta con varias unidades de un tipo en un nivel inferior que contribuyen a una unidad en un nivel superior, además de ser controladas por esta

(Odum, 1996; Brown *et al.*, 2004). El universo es una manifestación de energía, cuyos flujos de energía se organizan en una jerarquía energética (Odum, 1996). Todas las transformaciones de energía que se llevan a cabo en la tierra se organizan en series ordenadas de izquierda a derecha que forman una jerárquica energética, en la que se requieren muchos joules de energía proveniente de niveles más bajos de la escala jerárquica para poder producir pocos joules de energía en la escala superior, por ejemplo, muchos joules de sol requeridos para 1 joule de materia orgánica o combustible (Brown and Ulgiati, 2004a) (Figura 3.1). Cada transformación de energía en la red es un nivel (Brown *et al.*, 2004). Los fenómenos de la izquierda (por ejemplo, los moleculares), que ocupan áreas menores, rotan y se remplazan rápidamente, mientras que los de la derecha (por ejemplo, los Geológicos) ocupan áreas mayores y se remplazan lentamente (Odum, 1996).

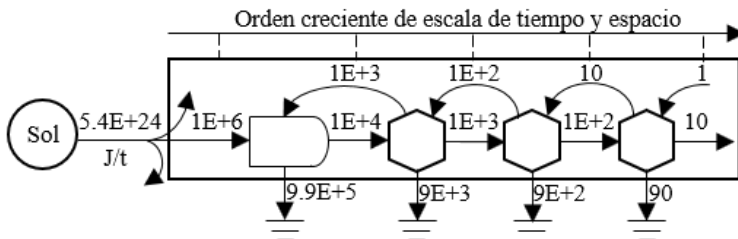
La energía disponible es menor conforme cada transformación de energía, puesto que, de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica, la energía disponible que se degrada en el proceso de transformación no es capaz de realizar trabajo; no obstante, aunque la energía disponible es menor en un nivel mayor de la jerarquía energética, este flujo de energía tienen más efecto por unidad y es más flexibles en su uso, por tanto, se considera energía de calidad mayor en el sentido de hacer más con menos, pero que es útil solamente si interactúa y se amplifica con una fuente de energía de calidad menor y cantidad mayor (Odum *et al.*, 1988; Odum, 1996; Brown and Ulgiati, 2004b; Brown *et al.*, 2004; Ulgiati and Brown, 2009).

Los diferentes tipos de energía disponible tienen capacidades diferentes para realizar trabajo (Odum, 1996; Brown and Ulgiati, 2004b; Brown *et al.*, 2004), cuya capacidad depende de la cantidad y calidad de la energía, que puede medirse por la cantidad de energía de calidad inferior requerida para desarrollar energía de calidad superior (Brown and Ulgiati, 2004b; Brown *et al.*, 2004). La diferencia de calidad en los niveles de la jerarquía energética hace que la comparación directa de unidades físicas sea inapropiada y la energía no se pueda indicar con unidades interconvertibles, como la caloría y el joule (Brown and Ulgiati, 2004b; Enger and Smith, 2010). Por tanto, es necesario realizar las correcciones de calidad para poder comparar las diferentes formas de energía con respecto a su capacidad diferente

de realizar trabajo (Brown and Ulgiati, 2004b; Brown *et al.*, 2004). Sin embargo, debemos considerar que la capacidad de generar trabajo depende también del sistema, no solamente de la forma de la energía (Brown and Ulgiati, 2004b).

Aunque el flujo de energía es menor en cada transformación, los procesos que sobreviven a la selección natural son aquellos en los que las transformaciones energéticas refuerzan su red de soporte mediante los pulsos de retroalimentación (Brown *et al.*, 2004). El refuerzo es posible sin utilizar demasiada energía, puesto que la autoorganización del sistema permite periodos más largos de acumulación de energía (concentración de energía) conforme la escala de tiempo y espacio aumenta, por tanto, la intensidad en la amplitud del pulso que retroalimenta el sistema con la energía acumulada será mayor conforme la escala aumenta (Brown and Ulgiati, 2004a; Brown *et al.*, 2004) (Figura 3.1).

Los diagramas de sistemas energéticos permiten representar los patrones y procesos a cualquier escala (Odum, 1996; Brown *et al.*, 2004).



**Figura 3.1.** Representación simplificada de la jerarquía energética de un sistema conforme la escala de tiempo y espacio aumenta (Modificado de (Odum, 1996; Brown *et al.*, 2004).

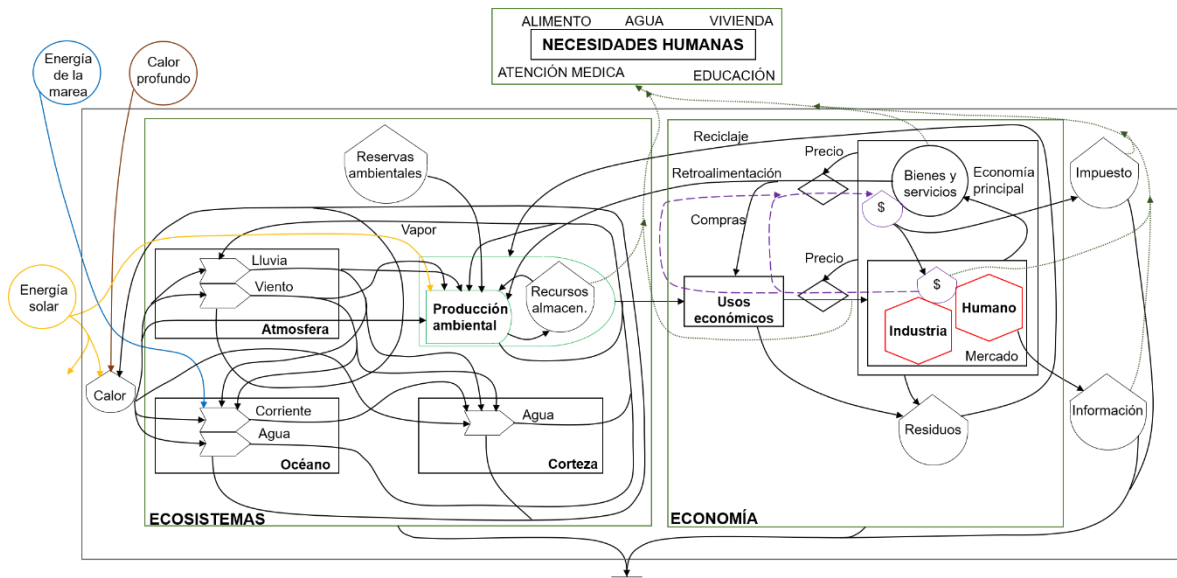
### 3.7.2. Flujo de energía en los sistemas ambientales

Los subsistemas naturaleza y sociedad se encuentran interconectados en redes de flujo de energía dentro de un solo sistema; por tanto, Odum utilizó la jerarquía energética para explicar el trabajo generado en la naturaleza y la sociedad como resultado de las transformaciones energéticas (Brown and Ulgiati, 2004b).

La energía es esencial para mantener la vida, dado que los seres vivos requerimos un flujo de energía constante para la supervivencia (Enger and Smith, 2010). Cada célula es un sistema especializado en transformar energía en relación a su entorno

(Curtis *et al.*, 2001). La vida en la tierra depende del flujo de energía que proviene del sol, cuya cantidad aproximada al año es de  $5.44E+24$  joules, de la cual  $1/3$  se regresa al espacio en forma de luz y la mayoría restante se absorbe por la tierra y se convierte en calor, parte de esta energía permite establecer los patrones climáticos debido a la evaporación del agua de los océanos y el movimiento del aire; no obstante, solo una mínima parte de la energía solar, aproximadamente  $1E+06$  joules, llega a los organismos fotosintéticos, y solo alrededor del 1% se transforma en biomasa vegetal (eficiencia del 1%), es decir,  $1E+04$  joules de plantas se producen cada año, de esta, el 90% de la energía útil se irá perdiendo conforme aumenta el nivel trófico (Odum *et al.*, 1988; Curtis *et al.*, 2001; Enger and Smith, 2010). La energía solar es utilizada por los organismos fotosintéticos para formar moléculas de ATP (Adenosín trifosfato) por medio de la fotofosforilación llevada a cabo en los fotosistemas, cuya transformación impulsa todos los procesos vitales (Curtis *et al.*, 2001); puesto que, la energía almacenada en el ATP se utiliza para sintetizar compuestos orgánicos mediante diferentes procesos de biosíntesis (Nelson and Cox, 2005). Estos compuestos orgánicos son utilizados para satisfacer las necesidades de otros organismos en un nivel trófico superior, continuando el flujo de energía en el ecosistema. Tal flujo de energía permite el funcionamiento de los ecosistemas, donde los organismos desempeñan roles específicos, ya sea que estos organismos utilicen la luz solar como fuente de energía para sintetizar moléculas orgánicas complejas a partir de sustancias inorgánicas (productores); requieran moléculas orgánicas como fuente de energía y de materiales celulares (consumidores), por ejemplo herbívoros, carnívoros y omnívoros; o utilicen materia orgánica no viva (descomponedores); de esta manera, los organismos consumidores y descomponedores dependen de los organismos productores (Enger and Smith, 2010). No obstante, puesto que los subsistemas naturaleza y sociedad están interconectados en redes de flujo de energía (Brown and Ulgiati, 2004b), los humanos dependemos del correcto funcionamiento de los ecosistemas, dado que proveen los recursos utilizados para el desarrollo económico que nos permite generar los bienes de vida requeridos para satisfacer nuestras necesidades. Dentro de las escalas de tiempo y espacio, la escala ambiental incluye

la interface entre los sistemas ecológicos y la sociedad económica humana (Odum, 1996). El comportamiento adecuado de las interrelaciones entre los ecosistemas, la economía y la sociedad podrá garantizar el desarrollo que permita satisfacer nuestras necesidades humanas permanentemente y, por tanto, lograr la sostenibilidad (Figura 3.2).



**Figura 3.2.** El flujo de energía en la escala ambiental y las dimensiones de la sostenibilidad.

### 3.7.3. Explotación de los recursos naturales y sostenibilidad

La producción y consumo en la sociedad humana depende en gran medida de la explotación de los recursos naturales (Lou *et al.*, 2015). Tales recursos naturales han sido utilizados para el crecimiento desmedido del capitalismo, donde las empresas lucrativas consumen los sistemas naturales que son la base del bienestar humano (Odum, 1996) y de los organismos vivos en general. Sin embargo, el planeta ha sido seriamente dañado, debido a la falta de control en el desarrollo económico y el aumento de la población (Chen *et al.*, 2017). Desafortunadamente existen conflictos en tratar de proteger el ambiente y promover el desarrollo económico (Odum, 1996). Sin embargo, la economía y el ambiente no pueden tratarse por separado, dado que están vinculados. Por lo que puede haber desarrollo económico sin crecimiento, al no incorporar más energía o materiales,

dado que el crecimiento no puede continuar indefinidamente en un mundo finito (Macedo, 2005). Por tanto, es indispensable adoptar estrategias que permita un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, sin afectar a los ecosistemas, pero generar desarrollo, asegurando la disponibilidad de recursos para las presentes y futuras generaciones, tal como quedo estipulado en el concepto de desarrollo sostenible establecido en el informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo en 1988: “Desarrollo que satisface las necesidades básicas de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades básicas”.

Se han propuesto varios métodos para evaluar la sostenibilidad, entre ellos el balance de materia y energía, metabolismo rural, huella hídrica, apropiación humana de la producción primaria neta, sistemas de información geográfica, balance de la fertilidad del suelo, análisis del ciclo de vida, MESMIS, LTBA, MuSIASEM, metabolismo agrario y análisis de emergía; sin embargo, la mayoría de los métodos que evalúan la sostenibilidad se limitan a utilizar estadísticas que solo evalúan de forma holística la sostenibilidad, por lo que se deben proponer procedimientos basados en un modelo que integre la información cualitativa y cuantitativa (Quintero and González, 2018). Sin embargo, el análisis de emergía es un método que permite proporcionar una imagen completa del desarrollo (Chen *et al.*, 2017), dado que es un sistema de evaluación basado en la ciencia, que mide el trabajo de la naturaleza y del humano en la generación de productos y servicios en una medida común, permitiendo seleccionar las opciones que maximizan el uso y producción de la emergía (Odum, 1996), proporcionado una base para la toma de decisiones ambientales y económicas, y con ello la creación de políticas que maximicen la riqueza y la producción (Odum, Brown and Brandt-Williams, 2000), sin comprometer los recursos naturales, para lo cual los recursos naturales renovables deben de ser aprovechados al máximo, y los recursos naturales no renovables deben gestionarse de la mejor manera posible.

### 3.8. Emergía

La emergía, derivada de la teoría de sistemas energéticos (Campbell, 2001), está basada en los principios de la energética de Lotka (1922a, 1922b), la teoría de sistemas de von Bertalanffy (1968) y la ecología de sistemas de Odum (1983); la emergía es la suma de la cantidad de energía disponible (exergía) de un tipo (usualmente solar) utilizada (degradada durante las transformaciones energéticas), para generar un producto o servicio (Ulgiati *et al.*, 1995; Brown and McClanahan, 1996; Odum, 1996; Brown *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004b; Ulgiati and Brown, 2009; Campbell *et al.*, 2015). En otras palabras, la emergía es un registro de la exergía previamente utilizada, por lo tanto, algunas veces la emergía es referida como la memoria de energía (Odum, 1996). La emergía es una medida de la calidad, puesto que permite realizar las correcciones de calidad necesarias para poder comparar las diferentes formas de energía con respecto a su capacidad diferente de realizar trabajo (Brown and Ulgiati, 2004b; Brown *et al.*, 2004). La unidad utilizada para medir la emergía es el emjoule solar, abreviado sej (del inglés solar emjoule), dado que se considera a la energía solar como la forma original de toda la energía (Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a; Brown *et al.*, 2016). La letra j minúscula ha sido adoptada por convención, puesto que, “el emjoule no es energía disponible, sino una medida de la exergía utilizada en el pasado para crear un flujo o almacenamiento de exergía en el presente”, por tanto, el emjoule no es joule en el sentido termodinámico y no podría abreviarse como tal (Brown *et al.*, 2016). Otras unidades de emergía se han utilizado, tal como los emjoules de carbón y los emjoules de electricidad (Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a). La producción de energía de alta calidad, por ejemplo, el combustible fósil, requiere una gran cantidad de joules de luz solar (Odum *et al.*, 1988; Brown and Ulgiati, 2004b). La emergía puede utilizarse para conocer la cantidad de joules solares requeridos para producir otra forma de energía, como podrían ser el combustible fósil (Odum *et al.*, 1988). No obstante, la evaluación de emergía permite entender el comportamiento de los sistemas ambientales en su totalidad (síntesis), dado que, la emergía es una medida universal del trabajo de la naturaleza y la sociedad realizada en una base común, trabajo que resulta en transformaciones energéticas

interconectadas en redes de flujo de energía; por tanto, cuando un sistema ambiental complejo se evalúa, la economía y la naturaleza como subsistemas se integran para analizar cuestiones relacionadas al subsistema social, como la política pública y la gestión ambiental (Brown and Ulgiati, 2004a).

### 3.8.1. El nacimiento del concepto de emergencia

El concepto de emergencia, según la reseña histórica de Brown and Ulgiati (2004b), tuvo como precursores a los términos calidad de la energía (energy quality) y energía neta (net energy); incluso la medida de la calidad de la energía sería ahora la emergencia. Siguiendo con la reseña de Brown and Ulgiati en la totalidad de este apartado, no se sabe desde cuándo Odum consideró por primera vez que las diferentes formas de energía tienen calidades diferentes, no obstante, Odum reconoció los principios de la calidad de la energía por sus investigaciones sobre la combinación del sistema humano y la naturaleza, cuyo término fue formalmente utilizado en su libro *Environment Power and Society* (1971). Sin embargo, la primera definición aparece en la publicación Odum (1973), donde se establece que la energía se puede medir por diferentes unidades interconvertibles, como la caloría y el joule, no obstante, la escala de calidad de la energía no se puede indicar con estas unidades de medida, cuya escala va desde la luz solar hasta la materia vegetal y por ejemplo el carbón, y desde este hasta el petróleo y la electricidad, llegando hasta escalas de energía de mayor calidad, como la información.

Por otro lado, Odum sugirió que una fuente de energía debe aportar una contribución neta a la economía del sistema, es decir, esto se refiere a obtener más energía que la se invierte, por tanto, consideró a la energía neta como el verdadero valor de la energía para la sociedad. El concepto de energía neta de Odum tuvo tanta aceptación, que el senado de EE. UU. de 1975 presentó una ley para analizar la energía neta en los sistemas de energía alternativa. Sin embargo, Odum continuó investigando sobre la calidad de la energía. Por lo tanto, realizó varios proyectos sobre la capacidad de carga de los seres humanos y sus cambios ambientales resultantes, donde el propósito fue mejorar la economía y el ambiente mediante la gestión ambiental. Más tarde el concepto de calidad de energía maduró a

equivalentes de trabajo de combustible fósil (FFWE “fossil fuel work equivalents”), en el que las proporciones utilizadas para convertir las formas de energía a FFWE se les nombró proporciones de calidad de energía. Posteriormente FFWE se cambió a calorías equivalentes de carbón, pero después una base solar se utilizó, llamada equivalentes solares. Más tarde, Odum utilizó el término energía incorporada (embodied energy), sin embargo, otros lo utilizaron de diferente forma, por tanto, Odum comenzó a utilizar el término calorías solares incorporadas (embodied solar calories). Finalmente, Odum adoptó el término energía sugerido por David Scienceman en 1983, que además propuso el emjoule como la unidad de medida de la emergía.

### 3.8.2. Unidad de valor de emergía (UEV)

La unidad de valor de emergía o intensidad de emergía se utilizan para convertir los flujos o almacenamientos de un sistema en unidades de emergía (Brown and Ulgiati, 2004b; Buonocore *et al.*, 2015), se abrevia UEV (del inglés Unit Emergy Value) y se obtiene de evaluaciones de emergía con sistemas similares al que se desea evaluar (Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a). La UEV se define como la cantidad de emergía (joules solares) requerida para producir una unidad de producto o servicio, por tanto, se expresa sej/unidad (por ejemplo, sej/gr, sej/J, y sej/\$) (Odum, 1996; Brown and Ulgiati, 2004a; Buonocore *et al.*, 2015; Lou *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2017).

La eficiencia puede ser medida mediante el UEV, puesto que relaciona todas las entradas del sistema con una salida (Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a). Cuanto menor es la UEV, la eficiencia en la conversión de energía es mayor, lo cual es una característica de los procesos que desarrollan la potencia máxima; por tanto, cuando hay varios UEVs para el mismo producto, la UEV menor puede ser utilizada para medir la ineficiencia de otros sistemas que producen el mismo producto (Odum, 1996; Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a).

Antes de que los valores de las diferentes UEVs sean considerados para el cálculo de emergía, se debe de tomar como referencia una línea base de emergía de la geobiosfera, abreviada GEB (del inglés Geobiosphere Emergy Baseline). Puesto

que en los últimos 20 años ha habido varias líneas base (Tabla 3.2), considerar una línea base es importante, dado que al cambiar la línea base, las UEVs que directa o indirectamente se derivaron de esta línea base también cambian (Brown and Ulgiati, 2016). Un factor de conversión se utiliza para ajustar las UEVs a la GEB deseada, el cual se obtiene de la relación de la nueva línea base con la anterior, o viceversa, según se requiera incrementar o disminuir el valor de UEV (Brandt-Williams, 2002; Brown and Ulgiati, 2004a, 2016). La Tabla 3.2 muestra los factores de conversión utilizados para ajustar el UEV a una GEB de referencia de 12.00 E+24 sej año<sup>-1</sup>.

**Tabla 3.2.** GEBs y su respectivo factor de equivalencia para ajustar la UEV a una GEB de referencia de 12.00 E+24 sej año<sup>-1</sup>.

GEB (E+24) (seJ año <sup>-1</sup> )	Referencia	Factor de equivalencia
09.44	(Odum, 1996)	1.2711
09.26	(Campbell, 2000)	1.2958
15.83	(Odum <i>et al.</i> , 2000)	0.7581
09.26	(Campbell <i>et al.</i> , 2005; Campbell <i>et al.</i> , 2010)	1.2958
15.20	(Brown and Ulgiati, 2010)	0.7895
12.00	(Brown <i>et al.</i> , 2016)	1

La emergía de un sistema se calcula multiplicando cada uno de los flujos de entrada al sistema por su respectiva unidad de valor de emergía (UVE), cuyos flujos de entrada al sistema son expresados en sus unidades usuales, por ejemplo, joules, gramos o US\$ (Odum *et al.*, 2000). Esta operación permite obtener la base común para expresar la energía en la misma forma (energía solar) (Sweeney *et al.*, 2007). La medida de emergía a lo largo del tiempo (empower) derivada de la energía solar, la geotérmica y de las mareas; impulsa los procesos productivos de la tierra, además de ser responsable del desarrollo de gradientes de emergía (Brown and Ulgiati, 2016). A partir de estas tres fuentes de energía se estiman las UEVs para la lluvia, ríos, olas y las corrientes globales (Odum *et al.*, 2000).

#### UEV y sus diferentes unidades

La UEV es el nombre general que se le da a la emergía requerida para producir una unidad de producto o servicio. Sin embargo, la unidad del producto o servicio puede estar expresada en J, gr o \$. Por tanto, la UEV recibe un nombre específico de acuerdo a la unidad utilizada. Las unidades sej/j, sej/gr y sej/\$ son nombradas transformidad, emergía por unidad de masa y emergía por unidad monetaria, respectivamente. A continuación, se define brevemente cada termino.

- Transformidad: la transformidad es la emergía requerida en las transformaciones energéticas dividida entre la energía del producto transformado (Brown *et al.*, 2004), es decir, la emergía total por unidad de energía del producto (sej/j). El universo es una manifestación de energía organizada jerárquicamente (Odum, 1996), donde la energía disponible disminuye conforme el nivel de la jerarquía energética es mayor, no obstante, la transformidad aumenta; por tanto, está indica la posición de los flujos y almacenamientos en la jerarquía energética universal (Odum, 1996; Brown and Ulgiati, 2004b; Brown *et al.*, 2004).
- Emergía por unidad de masa: los materiales tienen una relación de energía/masa más alta entre más concentrados estén, por tanto, requieren de una mayor energía, puesto que se requiere más trabajo para concentrarlos; por lo que, es necesario realizar la evaluación de la emergía con datos de emergía por unidad de masa (Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a, 2004b). Un ejemplo de materia altamente concentrada son los minerales de alto grado, los cuales no son comunes en la naturaleza (Odum *et al.*, 2000).
- Emergía por unidad monetaria: la cantidad de riqueza utilizada en un sistema depende de la cantidad de emergía mantenida por la economía y el dinero que circula en ella, cuyo dinero es utilizado por las personas para pagar bienes y servicios (Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a). Por tanto, las personas adquieren emergía cuando reciben un pago por sus productos

o servicios (Brown and Ulgiati, 2004a), y al mismo tiempo, un sistema recibe energía por los productos o servicios adquiridos. La energía por unidad monetaria es calculada dividiendo la energía total de un país, estado o región entre su producto interno bruto (PIB) (sej/\$) (Odum, 1996; Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a). Este UEV es utilizado para convertir unidades monetarias a unidades de energía (Brown and Ulgiati, 2004a). Por tanto, la energía por unidad monetaria es útil para poder evaluar las entradas al sistema basadas en unidades de dinero (Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a).

### 3.8.3. Línea base de energía de la geobiosfera (GEB)

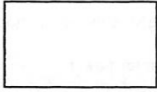
La GEB se requiere para evaluar la energía debido a que es una base unificada para determinar la UEV de los flujos y almacenamientos de la geobiosfera (Brown *et al.*, 2016; Campbell, 2016). Un incremento o disminución en la GEB cambia las UEVs debido a que se derivan del flujo de energía (empotencia) global anual (Brown and Ulgiati, 2004a).

La geobiosfera abarca la atmósfera, el océano y la corteza de la tierra (Brown and Ulgiati, 2004a, 2016); se limita espacial y temporalmente para que la energía que impulsa un sistema pueda calcularse (Brown and Ulgiati, 2016). La GEB es la empotencia global anual constituida por las tres fuerzas principales (exergía del sol, geotérmica y de la marea) que impulsan los procesos de la geobiosfera (Brown and Ulgiati, 2004a, 2016; Brown *et al.*, 2016). Esta exergía tripartita se expresa en términos de una de las energías que la componen (la energía solar), mediante ratios de equivalencia solar, abreviada SERs (del inglés Solar Equivalence Ratios), puesto que los otros componentes, la energía geotérmica y de la marea, no son una transformación de la luz solar (Brown *et al.*, 2016). La transformación de la empotencia global impulsa el desarrollo de fuentes de exergía secundaria (viento, potencial químico del agua de lluvia) y terciaria (energía química y geopotencial de descargas de ríos, energía disponible de las olas) (Brown and Ulgiati, 2016). La GEB se expresa en joules solares equivalentes, abreviado seJ (del inglés solar equivalent joules); la letra J mayúscula ha sido adoptada por convención, puesto

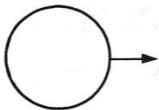
que, la abreviatura de joule siempre se indica en mayúscula (Brown *et al.*, 2016); lo cual permite diferenciar la unidad de la GEB con la de emergía.

#### 3.8.4. Símbolos utilizados en los sistemas de energía (Odum, 1996)

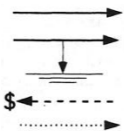
Marco del Sistema. Caja rectangular que representa los límites del sistema.



Recurso. Cualquier entrada que cruce el límite del sistema es un recurso (flujos de energía, materiales, información, genes, servicios y entradas destructivas). Los recursos se organizan alrededor de la frontera exterior de izquierda a derecha de acuerdo con su transformidad, comenzando con el sol en la izquierda e información y servicios humanos a la derecha. Las fuentes de entrada no se dibujan en el lado inferior del marco del sistema.



Línea de ruta. Todos los flujos (energía, materiales e información) se representan por una línea. Líneas discontinuas indican el flujo de dinero, líneas punteadas o de colores representa el flujo de materiales. Las puntas de flecha significan que el flujo se impulsa desde atrás (impulsado por el donante) sin una fuerza de respaldo apreciable de la siguiente entidad. Las líneas sin puntas de flecha fluyen en proporción a la diferencia entre las dos fuerzas y pueden fluir en cualquier dirección.

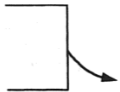


Disipador de calor. Representa la segunda ley de la termodinámica: la dispersión de la energía disponible (energía potencial) en un estado degradado no capaz de generar trabajo. A partir de cada símbolo de transformación, y cada tanque se requieren rutas de disipación de calor. En el inicio, un disipador de calor puede ser colocado en la parte inferior central del marco del sistema, luego se dibujan dos

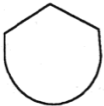
líneas de aproximadamente 45° en el borde inferior del marco para recoger rutas de disipación de calor. Líneas más finas o líneas amarillas para los disipadores de calor se suelen utilizar para evitar que dominen el diagrama. Ningún material, energía disponible, o información útil pasa a través de los disipadores de calor, solo energía degradada.



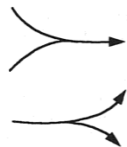
Flujos de salida. Cualquier flujo de salida que todavía tiene potencial disponible, materiales más concentrados que el ambiente, o información útil se muestra como una ruta desde cualquiera de los tres bordes superiores del sistema, pero no desde la parte inferior.



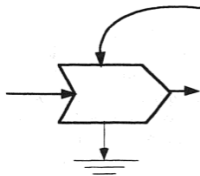
Tanque de almacenamiento. Este símbolo se requiere para indicar cualquier cantidad almacenada de material, energía pura, dinero, activos, información, etc. Cada flujo dentro o fuera de un tanque debe ser del mismo tipo y medido en las mismas unidades. A veces, un tanque se muestra traslapado por un símbolo del cual forma parte.



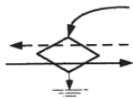
Adición de vías. Las vías suman sus flujos cuando se unen o cuando entran en el mismo tanque. Ninguna ruta debe unirse o entrar en un tanque común si son de un tipo o transformidad diferente o se miden en diferentes unidades. Una vía que se ramifica representa una división de flujo en dos del mismo tipo.



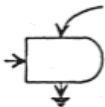
Interacción. Dos o más flujos diferentes y que se requieren para un proceso están conectados a un símbolo de interacción. Los flujos hacia una interacción se dibujan de izquierda a derecha en orden de acuerdo con su transformidad y el de menos calidad se conecta al margen izquierdo. La salida de una interacción es una salida de un proceso de producción o flujo de producto. Por lo general, estos deben ir a la derecha, ya que la producción es una transformación que aumenta la calidad.



Transacción de intercambio. Este símbolo se utiliza cuando las cantidades en un flujo se intercambian por las de otro. La mayoría de las veces, el intercambio es un flujo de productos, bienes o servicios intercambiados por dinero (líneas discontinuas). El precio que relaciona un flujo con los otros es una fuente externa de acción que representa a los mercados, el cual se muestra con una vía que viene desde arriba a la parte superior del símbolo.

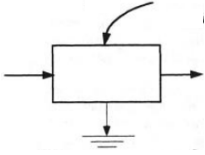


Productor. Recopila y transforma energía de baja calidad bajo el control de interacciones de flujos de alta calidad.

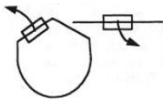


Caja miscelánea. Simboliza cualquier estructura de un subsistema y/o función. Esta caja es apropiada para representar sectores económicos y puede incluir interacciones y almacenamientos con productos emergentes a la derecha. Los

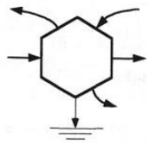
detalles de lo que sucede dentro no se especifican a menos que se describan con un diagrama en el interior.



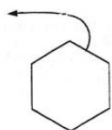
Caja pequeña. Una caja muy pequeña en una vía o en el lado de un tanque de almacenamiento se utiliza para iniciar otro circuito que es impulsado por una fuerza proporcional a la vía o almacenamiento. También se denomina sensor cuando ejecuta su acción sin consumir mucha energía de la vía o tanque original.



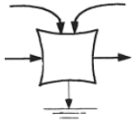
Consumidor. Transforma la calidad de la energía recibida con lo productos, la almacena y la retroalimenta de forma autocatalítica para mejorar el flujo de entrada. Consumidores humanos y animales pueden incluirse. Los detalles dentro del consumidor no se especifican a menos que se describan en el interior.



Retroalimentación. Las salidas de calidad alta de los consumidores (información, controles y materiales escasos) se realimentan de derecha a izquierda en el diagrama. Estos flujos deben dibujarse con una vía en sentido contrario a las manecillas del reloj, por la parte de arriba y sobre el símbolo original, no debajo del símbolo.

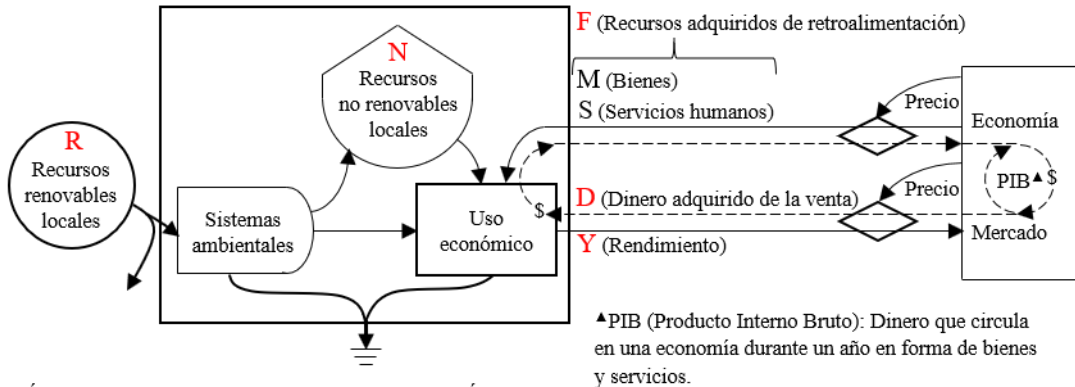


Interruptor. Representa los procesos de cambio, aquellos que se activan y desactivan. Los flujos que se controlan entran y salen por los lados. Las vías que controlan los interruptores se dibujan entrando desde arriba hasta la parte superior del símbolo.



#### 3.8.5. Flujos de energía en los sistemas

La mayoría de las transformaciones de energía que integran la red de la biosfera y la economía humana involucran cuatro o más tipos de energía: 1) flujo de la energía disponible de cantidad mayor y calidad menor, 2) la retroalimentación desde niveles más altos de la jerarquía energética, 3) el rendimiento de la producción de cantidad menor y calidad mayor y 4) la energía dispersada (Odum, 1996). Sin embargo, los índices y ratios utilizados para evaluar el desempeño del sistema se formulan con base en flujos de energía específicos (Figura 3.3). Por tanto, cuando los índices y ratios basados en la energía son utilizados, los flujos de energía se organizan en tres categorías principales: 1) entradas ambientales locales (I), 2) recursos adquiridos (F) y 3) salida de productos o rendimiento (Y) (Odum, 1996). Las entradas ambientales locales (I) se dividen en recursos renovables locales (R) y recursos no renovables locales (N) (Odum, 1996; Ulgiati and Brown, 1998) (Figura 3.3). No obstante, la organización de los flujos en categorías depende de la escala y tipo de sistema.



ÍNDICES Y RATIOS BASADOS EN LA EMERGÍA:

Emergía total utilizada	U	R+N+F	Emergía neta	NE	Y-F
Porcentaje de emergía renovable	%Ren	(R/U)100	Ratio de la inversión de emergía	EIR	F/(R+N)
Ratio de autosuficiencia de emergía	ESR	(R+N)/U	Ratio de intercambio de emergía	EER	Y/D
Ratio del rendimiento de emergía	EYR	Y/F	Índice de sostenibilidad de emergía	ESI	EYR/ELR
Ratio de la carga ambiental	ELR	(N+F)/R			

**Figura 3.3.** Diagrama de un sistema ambiental-económico. Los flujos de emergía del sistema, así como los índices y ratios basados en la emergía utilizados para evaluar los sistemas ambientales son mostrados.

### Recursos renovables locales (R)

Los recursos renovables se obtienen del ambiente, donde sus flujos son limitados, dado que no se puede incrementar el grado en que fluyen a través del sistema; están disponibles localmente y son considerados gratuitos, al estar disponibles sin costo (Odum, 1996; Ulgiati and Brown, 1998).

### Recursos no renovables locales (N)

Los recursos no renovables están disponibles localmente y son de existencia limitada, dado que, aunque podemos incrementar el grado de extracción, la cantidad total disponible es finita en el tiempo. No siempre son gratuitos, puesto que algunas veces se paga por su explotación (Odum, 1996; Ulgiati and Brown, 1998).

### Recursos adquiridos (F)

Los recursos adquiridos pueden ser de existencia limitada, nunca serán gratuitos, ni localmente disponibles (Ulgiati and Brown, 1998). Los recursos adquiridos se consideran una realimentación desde la economía mayor siguiente al sistema para producir un rendimiento de emergía (Odum, 1996).

### Rendimiento de energía (Y)

Flujo de los productos de salida (Odum, 1996), o flujo de energía exportada al mercado exterior en forma de productos (Lei *et al.*, 2014). El cual equivale a la suma de la fuente de energía (I) y la energía adquirida (F) (Odum, 1996).

#### 3.8.6. Índices de desempeño basados en energía

Diferentes índices basados en la energía se calculan (Tabla 3.3) ya que los flujos de energía de entrada (recursos renovables, no renovables y adquiridos) se contabilizaron.

**Tabla 3.3.** Índices de desempeño basados en la energía utilizados en la evaluación de sistemas ambientales.

Índice	Abreviatura (del inglés)	Descripción resumida
Porcentaje de energía renovable	%Ren	Porción renovable de la energía total utilizada (Ulgiati and Brown, 1998; Brown <i>et al.</i> , 2000; Brown and Ulgiati, 2004a).
Ratio de autosuficiencia de energía	ESR	Proporción de energía que proviene de los recursos locales (Lei <i>et al.</i> , 2014; Wang <i>et al.</i> , 2016).
Ratio del rendimiento de energía	EYR	Capacidad para explotar los recursos locales mediante la inversión de los recursos externos y obtener un rendimiento determinado (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a).
Ratio de la carga ambiental	ELR	Presión en el ambiente ocasionada por el proceso productivo (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a).
Energía neta	NE	Contribución potencial de un sistema (Ulgiati <i>et al.</i> , 1995).
Ratio de la inversión de energía	EIR	Uso de la energía adquirida en comparación con la energía gratuita local (Odum, 1996; Brown and Ulgiati, 2004a).
Ratio de intercambio de energía	EER	Ventaja comercial por la energía intercambiada en una transacción (Brown <i>et al.</i> , 2000; Brown and Ulgiati, 2004a).
Índice de sostenibilidad de energía	ESI	Relación que indica si un proceso proporciona una contribución sostenible (Ulgiati and Brown, 1998).

### Porcentaje de energía renovable (%Ren)

Porción de la energía total utilizada que proviene de los recursos renovables (Ulgiati and Brown, 1998; Brown *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a). Una porcentaje de energía renovable alto se requiere para lograr una sostenibilidad alta del sistema a largo plazo (Brown and Ulgiati, 1997, 2004a; Brown *et al.*, 2000).

### Ratio de autosuficiencia de energía (ESR)

La autonomía de un agroecosistema se refiere a la autosuficiencia (Marten, 1988). La autosuficiencia alimentaria es cuando el sistema lleva a cabo la producción de productos sin requerir de considerables insumos del exterior (recursos adquiridos); los sistemas de producción sostenibles se caracterizan por ser lo más autosuficientes posibles, causar un impacto ambiental mínimo y alcanzar la máxima satisfacción de necesidades (Funes-Monzote, 2009b). La agricultura ha dejado de utilizar una cantidad mayor de recursos naturales gratuitos para utilizar una cantidad creciente de recursos fósiles (González-Ulibarry *et al.*, 2017). La mano de obra y semillas criollas se utilizan en la agricultura tradicional, mientras que una cantidad creciente de insumos es utilizada en la agricultura moderna (energía fósil y eléctrica, así como la requerida para elaborar agroquímicos) que crea una dependencia cada vez mayor (Funes-Monzote, 2009a; Guevara-Hernández *et al.*, 2015).

La ratio de autosuficiencia de emergía es la proporción de la emergía de los recursos locales (Lei *et al.*, 2014). La ESR se obtiene de dividir las fuentes locales (R+N) entre la emergía total utilizada (U) y “se utiliza para evaluar si la emergía del área de estudio es autosuficiente o no”; un valor de ESR cercano a 1 (o al 100%) significa que el sistema utiliza una porción muy alta de recursos locales y, por tanto, es muy autosuficiente; por ejemplo, una ESR de 0.85 significa que el 15 % de la emergía utilizada procede de los recursos adquiridos y el 85% restante procede de la emergía local (Wang *et al.*, 2016).

#### Ratio de rendimiento de emergía (EYR)

La EYR proporciona una medida de la capacidad de un sistema para explotar los recursos locales mediante la inversión de los recursos externos, y de esta manera generar una posible contribución adicional a la economía, dado los recursos invertidos que ya están disponibles en el sistema; EYR se calcula mediante la división de la emergía total (U) que impulsa un sistema entre la emergía adquirida (F) (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a). Esta relación es importante, dado que los sistemas bajo el control humano se basan en la explotación de los recursos locales renovables y no renovables por medio de la emergía invertida desde el exterior (Ulgiati and Brown, 1998).

Una EYR=1 es el valor más bajo posible, lo cual significa que los recursos locales no se están explotando (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a) y que el sistema proporciona la misma cantidad de energía que fue invertida para impulsarlo; una EYR de 1 o ligeramente superior indica que el sistema no proporciona una energía neta significativa a la economía, dado que solo transforma los recursos adquiridos (F), lo cual significa que el sistema es consumista en vez de generar crecimiento en el sistema (Brown and Ulgiati, 2004a). EYR será más alta conforme la cantidad de recursos locales explotados en un proceso sea mayor, (Ulgiati and Brown, 1998) y conforme se requiera una cantidad menor de recursos adquiridos; por tanto, las regiones desarrolladas que requieren una cantidad de energía y materiales alta del exterior presentan una EYR usualmente menor, comparado con las áreas subdesarrolladas que incorporan una cantidad de energía y materiales baja (Wang *et al.*, 2016).

#### Ratio de carga ambiental (ELR)

La ratio de carga ambiental indica la presión en el ambiente llevada a cabo por un proceso (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a). Por tanto, este índice puede medir el estrés de un sistema de acuerdo a una actividad de transformación determinada (Brown and Ulgiati, 2004a). La ELR es expresada mediante la suma de la energía local no renovable (N) y la energía adquirida (F) dividida por la energía renovable (R) (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a). La presión o estrés en el ambiente será mayor conforme la fracción de la energía renovable (R) sea menor; por tanto, la ELR depende de los recursos renovables (R) utilizados, lo cual puede expresarse con la fracción renovable utilizada por medio de la ecuación  $ELR = [(1/\%Ren) - 1]$  (Ulgiati and Brown, 1998). Una ELR=0 indica que un sistema funciona con el 100% de sus recursos renovables disponibles localmente (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a). Si algunos estudios de caso se consideran, un valor de ELR bajo (<2) indica un impacto ambiental bajo, una ELR de 2-10 indica impacto ambiental moderado y una ELR alta (>10) indica un impacto ambiental alto (Brown and Ulgiati, 2004a).

### Emergía neta (NE)

“Un problema principal de la evaluación de la sostenibilidad en las actividades y fuentes potenciales de energía es la interacción entre los impactos ambientales y las contribuciones netas para los procesos económicos” (Brown and Ulgiati, 1997). La emergía neta se utiliza para evaluar la contribución potencial de una fuente de emergía local (R+N) a la economía, dado que una fuente debe contribuir a un sistema al menos en una cantidad igual al costo de emergía requerido para obtener esta fuente (consecuencia del principio de la empotencia máxima); por tanto, si el costo de emergía es mayor que sus contribuciones, el sistema no es competitivo, comparado con un sistema que tiene un costo de emergía menor a sus contribuciones o productos, es decir, más emergía neta; no obstante, la importación de emergía al sistema (F) es importante para transformar una fuente de emergía (R+N) (Ulgiati *et al.*, 1995).

### Ratio de emergía-dinero (EMR)

La ratio de emergía-dinero es una medida del poder adquisitivo, que se obtiene mediante la división de la emergía total utilizada (U) en la economía de una región entre el PIB (Producto Interno Bruto) (Brown *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2016), cuya unidad es el sej/\$ (Brown and Ulgiati, 2004a). La EMR indica la cantidad de emergía que puede ser adquirida por unidad monetaria gastada (Brown and Ulgiati, 2004a; Wang *et al.*, 2016). La EMR es usualmente más alta en las áreas subdesarrolladas comparado con las desarrolladas (Odum, 1996).

### Ratio de la inversión de emergía (EIR)

La ratio de la inversión de emergía evalúa si un proceso es un buen usuario de la emergía invertida en comparación con otras alternativas (Brown and Ulgiati, 1997, 2004a). EIR determina si una inversión en el sistema es rentable basado en el emparejamiento de los recursos adquiridos con los recursos locales gratuitos; un sistema es rentable si su EIR es menor o igual que el EIR que prevalece en la región (Odum, 1996). El valor de EIR es mayor mientras más emergía adquirida se utiliza y menor mientras más emergía local se utiliza. Cuando el valor de EIR es mayor, la

producción incrementa, pero la emergía es utilizada con menos eficiencia (Odum, 1996).

#### Ratio de intercambio de emergía (EER)

La ratio de intercambio de emergía es la emergía intercambiada en una transacción o adquisición que permite medir la ventaja comercial de la compra-venta (Brown *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a), cuyo resultado de la transacción equivale a la emergía obtenida entre la entregada (Lei *et al.*, 2014). EER provee una medida del contenido de emergía por unidad monetaria del producto final, la cual es calculada al dividir la emergía del rendimiento total ( $Y$ ) entre el valor monetario de este en emergía (Lefroy and Rydberg, 2003; Houshyar *et al.*, 2018).

#### Índice de sostenibilidad (ESI)

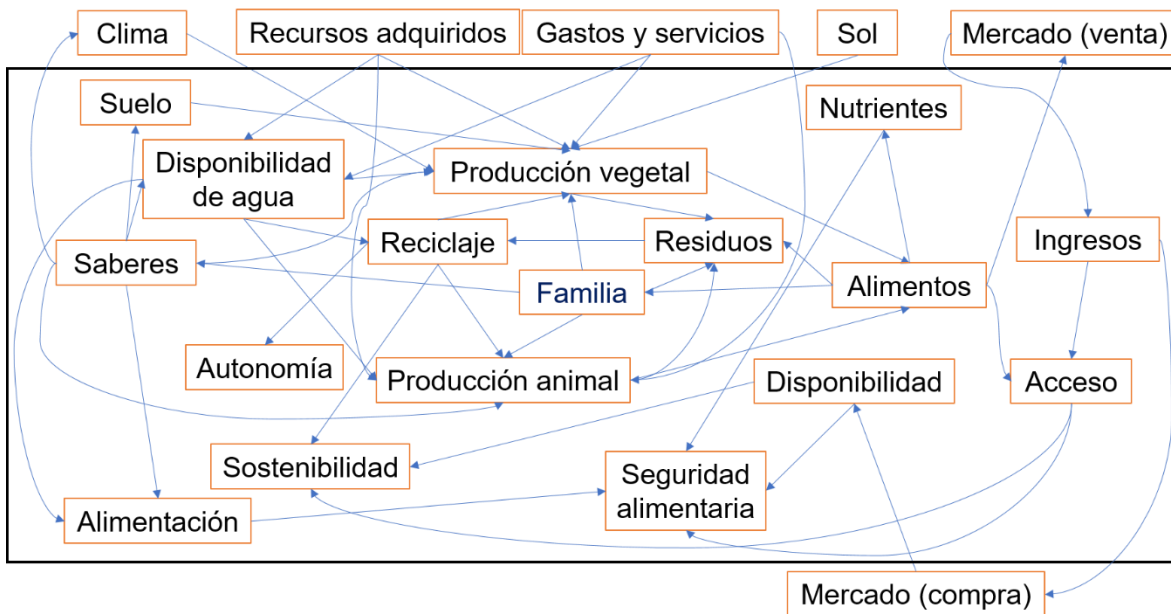
La sostenibilidad es una función del rendimiento, renovabilidad y carga sobre el ambiente; puesto que, un proceso no es sostenible si tiene un rendimiento neto negativo, depende enteramente de los recursos no renovables, o presenta una carga o estrés ambiental extremo que afecta la disponibilidad de recursos naturales y, por tanto, del nivel de vida de las generaciones futuras (Brown and Ulgiati, 1997; Ulgiati and Brown, 1998). Por lo que se sugiere que la relación entre el rendimiento de los procesos (o economías) y su presión (uso o consumo) ambiental puede ser utilizada como un índice de sostenibilidad (Brown and Ulgiati, 1997). En este caso, el concepto de sostenibilidad se utiliza de forma ontológica. Por tanto, la sostenibilidad se asume como un comportamiento o desempeño del sistema (Salas-Zapata *et al.*, 2017).

El índice de sostenibilidad de emergía (ESI) es la ratio de EYR (Ratio del rendimiento de emergía) y ELR (Ratio de carga ambiental) (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a). ESI “mide la contribución potencial de un recurso o proceso a la economía por unidad de carga ambiental” (Brown and Ulgiati, 2004a), e indica si un proceso proporciona una contribución sostenible, asumiendo que la función objetivo para la sostenibilidad es obtener la más alta proporción del rendimiento con la carga ambiental más baja, minimizando la explotación de

recursos no renovables (Ulgiati and Brown, 1998). Un ESI=0 es, en principio, el valor más bajo posible (Brown and Ulgiati, 2004a). Según los resultados de varios estudios de caso: un ESI<1 indica sistemas de consumo o economías orientadas al consumidor, un ESI de 1-10 indica economías en desarrollo y un ESI>10 indica economías subdesarrolladas, es decir, economías sin un desarrollo industrial significativo (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a).

#### IV. Formulación del problema de investigación

El estudio se realizó de forma interdisciplinaria, dada la integración de resultados disciplinares. El problema se formuló utilizando la complejidad (Figura 4.1).



**Figura 4.1.** Interrelaciones entre los elementos del sistema familiar rural de San Bernardino Tepenene.

La investigación, según el alcance, es exploratoria-descriptiva-explicativa. Los datos son analizados desde un enfoque cuantitativo-cualitativo no experimental, por lo tanto, es una investigación mixta.

#### **4.1. Preguntas de investigación**

##### **Pregunta general**

¿Cuáles son los elementos ambientales, económicos y sociales que influyen en la autonomía y sostenibilidad de la seguridad alimentaria en el sistema familiar rural de la localidad de San Bernardino Tepehene?

##### **Preguntas específicas**

1. ¿Cuáles son los saberes tradicionales que han sido perdidos o modificados de acuerdo a las percepciones recientes de las familias en la comunidad de San Bernardino Tepehene?
2. ¿Cuáles son las características generales de los sistemas de producción, socioeconómicas y de alimentación en la comunidad de San Bernardino?
3. ¿Cuáles son los factores climáticos que han estado ocasionando la afectación de los cultivos en la comunidad de San Bernardino Tepehene?
4. ¿Cuál es el estado de la comunidad de San Bernardino Tepehene con respecto a la seguridad alimentaria?
5. ¿Cuál es el potencial del autoconsumo de alimentos en la nutrición familiar de San Bernardino Tepehene?
6. ¿Cuál es el valor de la autosuficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola en la comunidad de San Bernardino?

#### **4.2. Hipótesis**

1. Los saberes tradicionales relacionados con la producción, alimentación y reciclaje de las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepehene han sido modificados, dado el uso reducido de recursos naturales gratuitos y el remplazo de la dieta tradicional.
2. La comunidad de San Bernardino Tepehene se integra principalmente por sistemas de producción a escala pequeña de autoconsumo, familias con un perfil socioeconómico bajo y sin carencia alimenticia.
3. El estrés hídrico y la temperatura extrema son factores que han estado ocasionando la afectación de los cultivos en la comunidad de San Bernardino Tepehene.

4. Una proporción alta de la comunidad de San Bernardino Tepehene tiene seguridad alimentaria.
5. Una fracción alta de la cantidad de nutrientes requeridos por las familias de la comunidad de San Bernardino Tepehene es aportada por los productos de autoconsumo y silvestres.
6. El valor de la autosuficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola de la comunidad de San Bernardino Tepehene es bajo debido al impacto ambiental moderado a alto y rendimiento bajo de los procesos.

### **4.3. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Determinar los elementos ambientales, económicos y sociales que influyen en la autonomía y sostenibilidad de la seguridad alimentaria en el sistema familiar rural de la localidad de San Bernardino Tepehene.

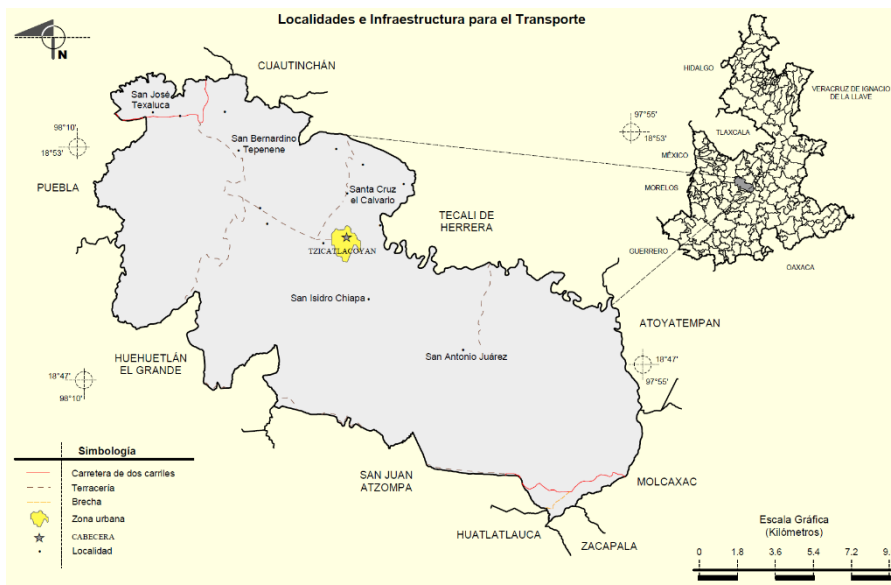
#### **Objetivos específicos**

1. Identificar los saberes tradicionales y sus modificaciones originadas por la percepción de las familias rurales.
2. Caracterizar el sistema familiar rural y elaborar un diagrama de flujo.
3. Analizar los aspectos climáticos de temperatura y precipitación que inciden en la producción de cultivos.
4. Evaluar la seguridad alimentaria del sistema familiar rural mediante la Escala latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA).
5. Determinar el aporte nutricional familiar de los productos de autoconsumo a través de tablas de composición de alimentos.
6. Evaluar la autosuficiencia y sostenibilidad basadas en la emergencia de los sistemas familiares de producción agrícola en San Bernardino Tepehene.

## V. Metodología

### 5.1. Localización

Este estudio se realizó en la localidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de Tzicatlacoyan, perteneciente a la Mixteca Poblana. Esta comunidad presenta un alto grado de marginación (CONAPO, 2016), está ubicada a una elevación de entre 2100 y 2200 m sobre el nivel del mar, tiene una posición de  $18^{\circ}52'46.87''/98^{\circ}5'48.97''$ , presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y tiene una vegetación donde predomina el encino (*Quercus spp.*), maguey (*Agave spp.*), huaje (*Leucaena leucocephala*) y palma (*Brahea dulcis*) (Pérez-Avilés *et al.*, 2015). Colinda al norte con los municipios de Puebla, Cuautinchán y Tecali de Herrera; al este con los municipios de Tecali de Herrera, Atoyatempan y Molcaxac; al sur con los municipios de Molcaxac, Zacapala, Huatlatlauca, San Juan Atzompa y Huehuetlán el Grande; al oeste con los municipios de Huehuetlán el Grande y Puebla (Figura 5.1). Ocupa el 0.8% de la superficie del estado (INEGI, 2009).



**Figura 5.1.** Mapa de localización de la localidad de San Bernardino Tepenene en el municipio de Tzicatlacoyan Puebla (INEGI, 2009).

## 5.2. Enfoque de investigación

### 5.2.1. Cuantitativo

La familia se consideró como unidad de análisis y el tipo de muestreo fue probabilístico al azar. La obtención de datos se realizó mediante la encuesta. El cuestionario verbal se utilizó como instrumento de medición.

El tamaño de la muestra se determinó mediante la ecuación (1) y (2), sin embargo, las recomendaciones planteadas por Hernández-Sampieri *et al.* (2006) y la comparación del tamaño de la muestra que han empleado otros investigadores se consideraron.

La varianza poblacional utilizada para el cálculo de la muestra fue determinada mediante una prueba piloto con el fin de obtener un valor orientativo. Por tanto, se procedió primero a tomar el valor más alto posible de la varianza (0.25). La muestra se calculó considerando un error de 0.05. La prueba piloto se realizó con el 10% del resultado obtenido, el cual fue de entre 6 y 7 familias, lo cual resultó en una varianza del 0.21, muy próxima a la más alta posible (0.25), que fue equivalente a una p de 0.8.

$$n' = \frac{s^2}{v^2} = \frac{p(1-p)}{se^2} \quad (1)$$

$n'$  = tamaño de la muestra sin ajustar.

$s^2$  = varianza de la muestra.

$V$  = varianza de la población.

$se$  = error estándar.

$p$  = probabilidad de ocurrencia del fenómeno.

$$n = \frac{n'}{1 + \left(\frac{n'}{N}\right)} \quad (2)$$

$n$  = número de unidades muestrales.

$N$  = tamaño de la población.

Sustitución:

El tamaño de la población se determinó según el número de viviendas particulares habitadas en la comunidad de San Bernardino Tepehene en el año 2010, el cual fue de 209 viviendas (INEGI, 2010).

$$n' = \frac{0.8(1 - 0.8)}{0.05^2} = \frac{0.16}{0.0025} = 64 \quad (3)$$

$$n = \frac{64}{1 + \left(\frac{64}{209}\right)} = \frac{64}{1.3062} = 48.99 = 49 \quad (4)$$

El muestreo probabilístico al azar se realizó mediante la división de la población en diez secciones, de las cuales se procedió a seleccionar aproximadamente la misma cantidad de familias por sección (Figura 7.2).



**Figura 7.2.** Mapa de la comunidad de San Bernardino Tepehene dividido en diez secciones para la selección al azar de la misma cantidad de familias por sección.

### 5.2.2. Cualitativo

Una muestra no probabilística se utilizó para la obtención de datos cualitativos. La técnica utilizada para la obtención de datos fue la entrevista y la observación, con el acompañamiento en las actividades de las familias, para lo cual la guía de

preguntas, hoja o guía de observación y la bitácora se utilizaron como instrumentos de medición.

Las entrevistas y la observación se realizaron por lo menos semanalmente durante el año 2018. El criterio de selección se realizó con las familias que representaron los tipos de sistemas de producción de alimentos identificados durante la caracterización del sistema. Los sistemas identificados fueron la milpa, jitomate y una combinación de ellos.

### **5.3. Análisis de la información**

El análisis de la información cuantitativa se realizó mediante estadística descriptiva, utilizando frecuencias y porcentajes.

### **5.4. Saberes**

La descripción se realizó mediante un diseño etnográfico realista o mixto, ya que datos cuantitativos y cualitativos fueron recolectados. Dentro de la recolección cuantitativa de datos se realizó una encuesta, para la cual se elaboró un cuestionario tomando en cuenta el procedimiento para construir un instrumento de medición (Hernández-Sampieri *et al.*, 2006). El cuestionario se dividió en tres dimensiones: 1) sistemas de producción, 2) alimentación y 3) reciclaje. Este fue aplicado de forma verbal.

La parte cualitativa se realizó durante todo el proceso de investigación mediante entrevistas y la observación, con el acompañamiento en las actividades de las familias, para lo cual el cuestionario verbal, hoja de observación (o acopio de datos) y bitácora fueron utilizados.

### **5.5. Caracterización del sistema familiar rural**

La caracterización se realizó mediante la aplicación de encuestas utilizando un cuestionario verbal, elaborado con el procedimiento para construir un instrumento de medición (Hernández-Sampieri *et al.*, 2006). El cuestionario se dividió en tres dimensiones: 1) Sistema de producción, 2) Socioeconómico y 3) Alimentación.

Posteriormente, un diagrama de flujo correspondiente al sistema familiar rural de la localidad se elaboró.

### **5.6. Análisis climático**

El análisis climático se realizó mediante los datos de temperatura y precipitación obtenidos de la estación climatológica 2106 (Balcón Diablo, San José Tejaluca), ubicada a aproximadamente 4.5 Km de la localidad de San Bernardino Tepenene.

### **5.7. Evaluación de la seguridad alimentaria**

La evaluación de la seguridad alimentaria se realizó mediante la Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA) (FAO, 2012). La cual consiste de 15 preguntas; 8 preguntas dirigidas a los adultos del hogar y 7 exclusivas para los niños y adolescentes menores de 18 años. Por tanto, las primeras 8 preguntas solo se aplicaron en aquellos hogares donde hay solamente adultos. Las respuestas son dicotómicas, es decir Si o No, además de No Sabe o No Responde. Para obtener los puntajes, un punto es asignado por cada respuesta afirmativa (si) y cero por cada respuesta negativa (no), todas las respuestas afirmativas se suman, los puntajes se calculan por separado para los hogares con menores de edad y los hogares sin menores, y finalmente la clasificación se hace en base a la Tabla 5.1. El puntaje es ignorado en caso de que cualquier pregunta no sea respondida con la opción dicotómica (Sí o No), para lo cual se utiliza la opción No Sabe/No Responde.

**Tabla 5.1:** Puntaje para la clasificación de la (in)seguridad alimentaria según el tipo de hogar (FAO, 2012).

Tipo de hogar	Clasificación de la (in)seguridad alimentaria			
	Seguridad	Inseguridad leve	Inseguridad moderada	Inseguridad severa
Hogares integrados solamente por personas adultas	0	1-3	4-6	7-8
Hogares integrados por personas adultas y menores de 18 años	0	1-5	6-10	11-15

### 5.8. Determinación del aporte nutricional familiar

El aporte nutricional familiar se realizó mediante la determinación de la cantidad de energía, macronutrientes y micronutrientes disponibles en los alimentos de autoconsumo durante el año 2018, los cuales se compararon con la cantidad de energía, macronutrientes y micronutrientes requeridos en el sistema familiar de acuerdo a las recomendaciones nutricionales de Chávez y Ledesma (1997). La tabla de composición de alimentos de Centroamérica (INCAP and OPS, 2012) se utilizó para este propósito.

### 5.9. Evaluación de la autosuficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola del sistema familiar rural

La evaluación de la autosuficiencia y la sostenibilidad se realizó mediante la metodología de la emergía, la cual comprende la cuantificación de todos los flujos de entrada renovables, no renovables y los recursos adquiridos que involucran al sistema.

El rendimiento del maíz grano se determinó mediante la metodología del CIMMYT (2012), considerando además el muestreo de subparcelas cinco de oros (INIFAP, 2012) de 24 m<sup>2</sup>.

La evaluación de emergía se realizó de acuerdo a los procedimientos reportados por Odum (1996), Brown and Ulgiati (2004a), Campbell (2005) y Buonocore *et al.*

(2015). La Figura 7.3 muestra un resumen del procedimiento y los pasos con mayor detalle se muestran a continuación.

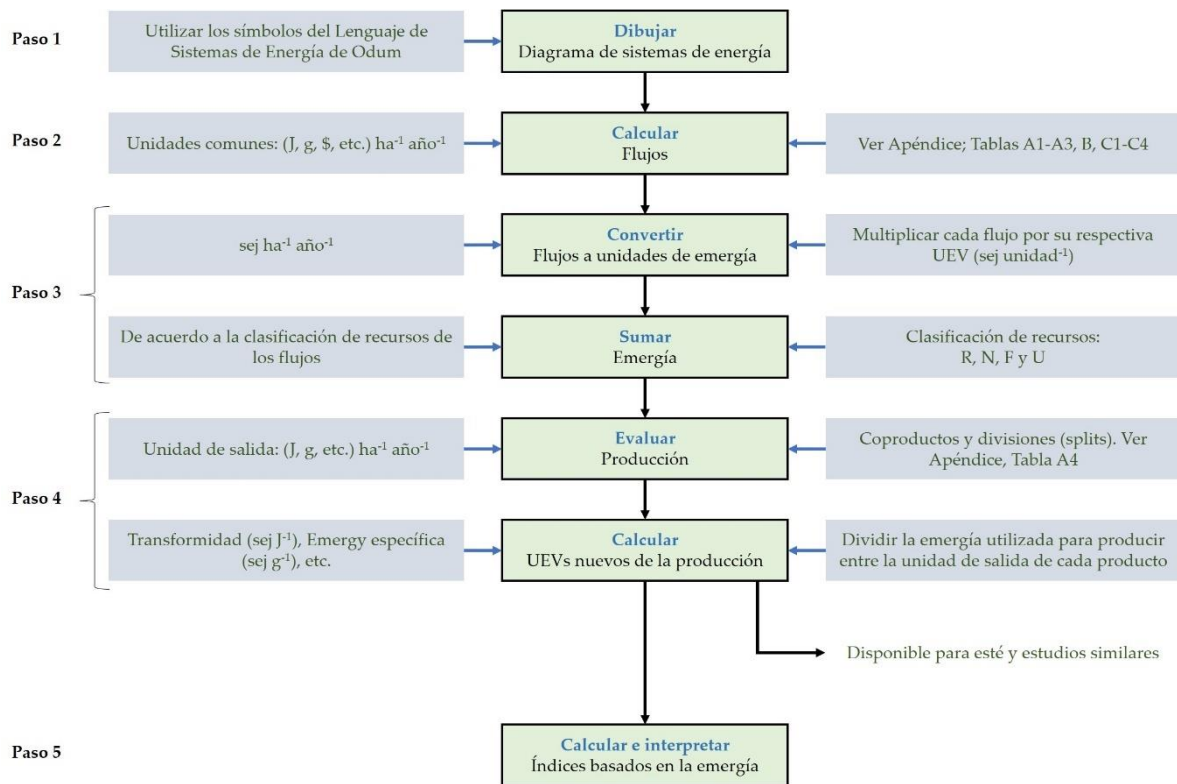
1. Identificar espacial y temporalmente los límites del sistema en estudio.
2. Recopilar información relacionada con el proceso, reservas almacenadas y los flujos importantes para el sistema.
3. Elaborar un diagrama de sistemas de energía de izquierda a derecha; donde más energía disponible se refleja a la izquierda del diagrama, y conforme cada transformación a la derecha, la energía disponible disminuye, para lo cual se utilizan los símbolos del lenguaje de sistemas de energía de Odum. Información detallada está disponible en Odum (1971a, 1971b, 1994, 1996). El diagrama tiene el propósito de visualizar los elementos, interrelaciones, entradas, procesos y salidas del sistema.
4. Calcular los flujos o almacenamientos que soportan el sistema por área y tiempo, para lo cual unidades usuales son utilizadas (joules, gramos, unidades monetarias, horas, etc.) (ver Apéndice A-C; Tablas A1-A3, B, C1-C4). Sin embargo, los componentes de un sistema están organizados en una jerarquía energética de izquierda a derecha en orden creciente de escala, concentración, tiempo e intensidad de los pulsos que retroalimentan el sistema con la energía concentrada (Brown et al., 2004). Por tanto, en cálculos basados en una escala de tiempo y espacio, las entradas de escala menor, donde los pulsos son de frecuencia alta, son promediadas; lo cual permite una evaluación de energía en un estado estable (Odum *et al.*, 2000; Brown and Ulgiati, 2004a).
5. Convertir las unidades de los flujos o las reservas almacenadas a unidades de energía mediante la multiplicación de cada flujo por su respectivo Valor de Unidad de Energía (UEV). Sumar las entradas de energía de acuerdo a la clasificación de los flujos (recursos renovables locales “R”, recursos no renovables locales “N” y recursos adquiridos “F”, los cuales son retroalimentaciones de la economía mayor), así como la energía total utilizada

“U” ( $U = R + N + F$ ). Una tabla estándar se utilizó para mostrar los cálculos de emergía.

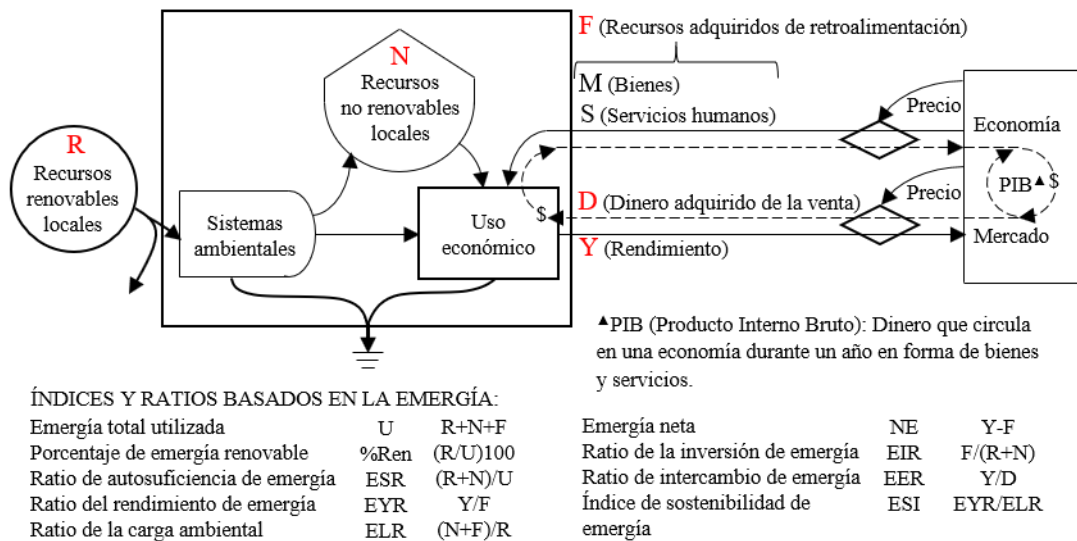
6. Evaluar la producción en el sistema y calcular el Valor de Unidad de Emergía (UEV) de los coproductos y sus divisiones (splits). El UEV, en este caso la transformidad, se calculó mediante la división de la emergía utilizada entre la exergía de cada producto (ver Apéndice A; Tabla A4).

Algunas reglas algebraicas se requieren para asignar adecuadamente emergía a los flujos: (1) Toda la fuente de emergía es asignada a la salida del proceso; (2) La emergía de cada coproducto corresponde a la emergía total utilizada; (3) Cuando los productos de salida se dividen, la emergía se asigna a cada brazo de la división (split) basado en el porcentaje del flujo de salida total en la vía; (4) La emergía en las retroalimentaciones no puede contarse dos veces y cuando los coproductos se reúnen, estos no pueden sumarse para igualar una suma mayor que la fuente de emergía desde la cual se derivaron (Brown and Herendeen, 1996; Odum, 1996). Sin embargo, cuando se hace referencia a algunos sistemas agrícolas, algunas entradas producidas en el año anterior deben contabilizarse en la emergía requerida para los cultivos en el año actual, puesto que la regla de separación en el tiempo toma preferencia (Campbell D E 2021, manuscrito, comunicación personal). Por tanto, las retroalimentaciones de refuerzo del año agrícola anterior (semilla, forraje, materia orgánica de los residuos de plantas y la labor familiar) se contabilizaron como parte de la base de emergía para las actividades del año agrícola siguiente y se consideraron como recursos renovables locales (R). Puesto que la cantidad de residuos de planta de calabaza y frijol, así como el forraje producido durante el año anterior es desconocida, los datos de la producción actual se utilizaron para estimar la emergía del forraje y los residuos de planta de calabaza y frijol utilizados en el año actual.

7. Calcular e interpretar los índices y ratios de desempeño basados en la emergía (Figura 7.4).



**Figura 7.3.** Esquema resumido del procedimiento de evaluación de emergy.



**Figura 7.4.** Índices y ratios de desempeño basados en la emergy para un sistema ambiental-económico.

### 5.9.1. Datos utilizados para el cálculo de recursos

Los datos utilizados para calcular los recursos no renovables locales se extrajeron del visualizador de acceso a datos de la NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (NASA POWER). La luz solar, viento, lluvia y evapotranspiración son los recursos renovables locales considerados en el análisis del sistema familiar rural; sin embargo, en este estudio, las retroalimentaciones de refuerzo se consideraron también como recursos renovables locales. La luz solar RFA (Radiación Fotosintéticamente activa) se sumó sin riesgo de doble conteo, debido a que es de una fuente de exergía diferente que el efecto de calentamiento del sol utilizado para generar viento y lluvia (Campbell D E 2021, manuscrito, comunicación personal); sin embargo, el viento y la lluvia son coproductos planetarios y, por tanto, si ambos recursos se suman, habrá doble conteo (Campbell D E 2021, manuscrito, comunicación personal). Por tanto, la emergía total de los recursos renovables locales se calculó mediante la suma de la emergía de la luz solar y la mayor de la lluvia y el viento (más la emergía de la retroalimentación de refuerzo). La evapotranspiración se estimó a partir de datos meteorológicos y coeficientes de cultivo utilizando el método FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006).

El suelo se consideró como un recurso no renovable debido a la pérdida neta ocasionada por la erosión y su recuperación puede tardar varios años. La estimación de la pérdida neta de la capa superficial del suelo en el área productiva fue determinada mediante la identificación del grado de erosión a través del espacio digital geográfico de la (SEMARNAT, 2020), el cual se utilizó, posteriormente, para revelar el rango de pérdida de la capa superficial de suelo de acuerdo a la clasificación de la erosión de suelo de la (FAO, 1979). Las parcelas de la comunidad de San Bernardino Tepenene están localizadas en un área donde la erosión hídrica predomina. El grado de erosión está clasificado como “ligero” y tiene un rango de pérdida de la capa superficial de suelo de menos de 10,000 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (FAO, 1979); el valor intermedio de este rango se utilizó para estimar la pérdida de la capa superficial de suelo.

La línea base de emergía de la geobiosfera (GEB en sus siglas en inglés) nueva de referencia de 12.00 E+24 sej año<sup>-1</sup> se utilizó, la cual es una síntesis que resultó de

tres procedimientos de cálculo (Brown *et al.*, 2016). Por tanto, los UEVs con una GEB de referencia diferente se ajustaron utilizando factores de equivalencia apropiados (ver Tabla 3.2). Tales factores se obtuvieron a partir de la relación de la línea base nueva entre la anterior (Brandt-Williams, 2002; Brown and Ulgiati, 2016). El UEV de los residuos de planta de calabaza se asumió ser similar al UEV para los residuos de planta de frijol, ya que no hubo trabajos que reportaran el UEV de los residuos de plantas de calabaza; sin embargo, este estudio permitió obtener el UEV de estos residuos y todos los coproductos de los sistemas evaluados. El UEV de la labor se calculó a través de la energía requerida para soportarla (Ulgiati and Brown, 2014), en este caso, la energía de los alimentos producidos que la familia consume y la energía de entrada del ingreso monetario destinado para el consumo familiar, cuyos valores fueron divididos por la energía total requerida para llevar a cabo la labor en el sistema. Sin embargo, la energía disponible gastada en el trabajo metabólico fue asumida como la que libera la energía del conocimiento y experiencia del agricultor (Campbell and Lu, 2014).

## **VI. Resultados**

### **6.1. Saberes del sistema familiar rural**

La Tabla 6.1 muestra los saberes identificados en el sistema familiar rural de la comunidad de San Bernardino Tepenene relacionados con la producción, la alimentación y el reciclaje. Respecto a los saberes relacionados con la producción, una alta proporción de las familias tiene conocimiento acerca del tipo de cultivos sembrados de acuerdo a la temporada, meses para identificar la temporada, el propósito del barbecho, la ventaja de los abonos orgánicos, la contaminación y daño a la salud por el uso de agroquímicos, así como la forma de seleccionar las semillas. El 86.96% de las familias tiene conocimiento acerca del tipo de cultivos sembrado de acuerdo a la temporada, 91.30% identifica la temporada mediante los meses, 95.65% conoce el propósito del barbecho, 73.91% sabe de la ventaja de los abonos orgánicos, 82.61% conoce sobre la contaminación de los agroquímicos, 73.91% sobre el daño a la salud por su uso y 83.61 sabe la forma de seleccionar las semillas.

Una proporción entre cerca del 50% y el 70% de las familias tiene conocimientos sobre la forma de predecir las lluvias, uso de residuos orgánicos, el aumento de la productividad a bajo costo y la identificación del suelo fértil. Cerca del 48% de las familias tienen conocimiento acerca de la forma de predecir las lluvias, 43.48% identifican los residuos orgánicos, 47.83% conocen formas de aumentar la productividad a bajo costo y 65.22% identifican la fertilidad del suelo. Sin embargo, una muy baja proporción de las familias tiene conocimiento sobre las cabañuelas y la canícula para identificar la temporada. Solamente 4.35 % conoce acerca de estos saberes. Los resultados indican los saberes que dominan una fracción importante de las familias y que han sido de importancia para la producción sostenible de alimentos, vinculada con la baja inversión de recursos adquiridos que representan un gasto económico para las familias de la comunidad; pero también indican la falta de conocimiento en algunos aspectos menores.

Los resultados desde el enfoque cualitativo indicaron que algunos agricultores han modificado sus saberes con respecto a la fertilidad del suelo y la productividad a bajo costo. Los campesinos adoptaron una percepción diferente respecto a esto, dado que creen que la fertilidad del suelo solo puede ser posible a expensas de los agroquímicos. Además, los campesinos quieren dejar de producir milpa, debido a que consideran que ya no es rentable, por lo que han considerado producir maguey en vez de milpa.

**Tabla 6.1.** Porcentaje de familias y su relación con saberes identificados en el sistema familiar rural en la comunidad de San Bernardino Tepehene.

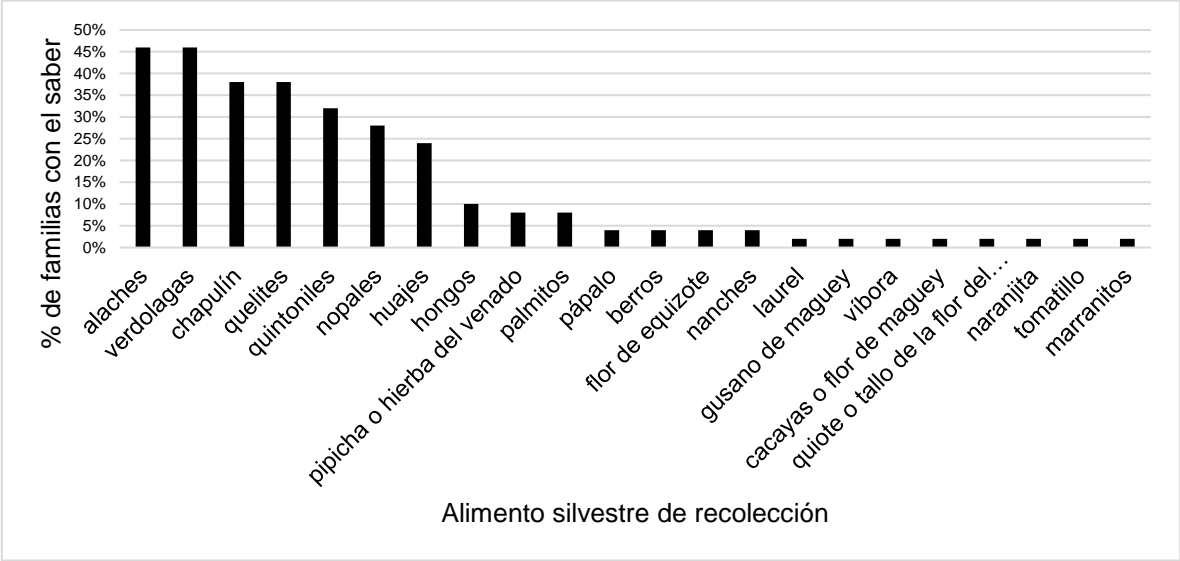
Saber	%
<b>Producción de alimentos:</b>	
Tipo de cultivo según la temporada	86.96
Forma de predecir lluvias	47.83
Meses para identificar la temporada	91.30
Cabañuelas para identificar la temporada	4.35
Canícula para identificar la temporada	4.35
Propósito del barbecho	95.65
Residuo orgánico	43.48
Ventajas de los abonos orgánicos	73.91
Contaminación por agroquímicos	82.61
Daños a la salud por agroquímicos	73.91
Aumento de la productividad a bajo costo	47.83
Identificación de la fertilidad del suelo	65.22
Siembra de cultivos según el ambiente	69.57
Forma de seleccionar la semilla	82.61
<b>Alimentación:</b>	
Alimentación saludable para reducir riesgo de padecimientos	78.13
Consumo de dieta nutricionalmente adecuada	53.13
Importancia de la variedad alimenticia	56.25
Repercusiones de una mala nutrición	78.13
Lo inadecuado de una dieta basada en azúcares refinados, alto consumo de grasas saturadas y sal.	81.25
Frutas y verduras como principal fuente de vitaminas y minerales	100.00
Alimentación de acuerdo a la edad	62.50
Ingesta de alimentación silvestre de recolección	87.50
<b>Reciclaje:</b>	
Reciclaje de residuos	90.63
Uso para la alimentación animal	50.00
Uso para la cobertura de suelo	46.88
Uso para composta	25.00
No sabe un uso	9.38
Beneficio económico	81.25
Beneficio ambiental	93.75

En cuanto a los saberes relacionados con la alimentación, una alta proporción de familias tiene el conocimiento de que una alimentación saludable reduce el riesgo de padecimientos, las repercusiones de una mala nutrición, lo inadecuado de una dieta basada en azúcares refinados, alto consumo de grasas saturadas y sal; las frutas y verduras como principal fuente de vitaminas y minerales y la ingesta de

alimentos silvestres de recolección. Cerca del 78.00% de las familias sabe que una alimentación saludable reduce el riesgo de padecimientos, 78.13% conoce las repercusiones de una mala nutrición, 81.25% sabe lo inadecuado que es una dieta basada en azúcares refinados, alto consumo de grasas saturadas y sal, el 100% sabe que las frutas y verduras son la principal fuente de vitaminas y minerales y 87.50% conoce algunos alimentos silvestres de recolección. No obstante, la mitad o cerca de la mitad de las familias tiene conocimiento sobre el consumo de una dieta nutricionalmente adecuada, importancia de la variedad alimenticia y de la alimentación de acuerdo a la edad. Cincuenta y tres por ciento de las familias tiene conocimiento sobre el consumo de una dieta nutricionalmente adecuada, 56.25% conoce la importancia de la variedad alimenticia y 62.50 sabe que la alimentación es de acuerdo a la edad. Los datos indican que la mayoría de las familias poseen conocimientos sobre los beneficios de una dieta sana, las fuentes de nutrientes, una dieta inadecuada y sus consecuencias, así como de la ingesta de plantas silvestres comestibles, pero solo cerca de la mitad de las personas conoce sobre el consumo de una dieta nutricionalmente adecuada y la importancia de variar la dieta y ajustarla de acuerdo a la edad.

Los saberes relacionados con el reciclaje indican que un porcentaje alto de familias conocen sobre el reciclaje de residuos generados en el sistema familiar rural y reconocen el beneficio económico y ambiental. Cerca del 90.00% de las familias conocen sobre el reciclaje de los residuos generados, 81.25% conoce sobre el ahorro económico generado en el reciclaje y 93.75% sabe que el reciclaje contribuye con el cuidado del ambiente. Sin embargo, la mitad o menos de las familias saben cómo utilizar los residuos para la alimentación animal, la cobertura de suelo, composta; incluso, no saben qué hacer con los residuos. Cincuenta por ciento de las familias saben utilizar los residuos para la alimentación animal, 46.88% para la cobertura de suelo, 25% para la composta y 9.38 no saben el uso que le puede dar a los residuos generados en el hogar. Los resultados indican que una proporción alta de familias conocen sobre el reciclaje de residuos; sin embargo, una proporción importante no sabe qué hacer con los residuos generados.

Una parte importante de los saberes relacionados con la producción de alimentos es que las familias cuentan con saberes relacionados con la recolección de alimentos silvestres. El conocimiento de las familias sobre alimentos silvestres permitió identificar 22 alimentos, de los cuales 18 son plantas, 1 hace referencia a hongos y 3 son animales de la clase insecta y reptilia. Los principales alimentos silvestres de recolección mencionados por las familias son el alache (*Anoda cristata*) y la verdolaga (*Portulaca oleracea*), seguido del chapulín (*Sphenarium purpurascens*), quelite (vegetales tiernos, plantas jóvenes, brotes de algunos árboles y ciertas flores comestibles), quintonil (*Amaranthus hybridus*), nopal (*Opuntia ficus-indica*) y huaje (*Leucaena leucocephala*); pero en una medida menor, las familias conocen desde hongos hasta marranitos (especie no identificada) (Figura 6.1). Más del 45% de las familias conocen sobre los alaches y verdolagas, entre cerca del 40% y 25% conocen sobre el chapulín, los quelites, quintoniles, nopales y huajes (Figura 6.1). Menos del 10% de las familias tienen conocimiento sobre una extensa variedad de alimentos silvestres de recolección (Figura 6.1). Los saberes en cuanto a este tipo de alimentos podrían tener un impacto importante en el complemento de la dieta actual y en mejorar la seguridad alimentaria de las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepenene.



**Figura 6.1.** Alimentos silvestres de recolección y la proporción de familias que los conocen en San Bernardino Tepenene.

## 6.2. Caracterización del sistema familiar rural

La Tabla 6.2 muestra las características del sistema de producción en la comunidad de San Bernardino Tepehene. Gran parte de las familias tienen acceso a tierra de cultivo, la cual pertenece principalmente a la familia. Cerca del 90% (88%) de las familias tiene acceso a tierra de cultivo y 82% posee tierra propia. En cuanto al tamaño y uso de la tierra, la agricultura es de pequeña escala, pues 97.06% de las familias poseen parcelas menores a 50,000 m<sup>2</sup>. Muy pocas familias cuentan tanto con una parcela e invernadero, dado que solo algunos pobladores cuentan con invernadero. Aproximadamente 13.5% de las familias tiene acceso a ambos sistemas de producción (invernadero + parcela) y 8.11% solo tiene invernadero. La forma de producción en la parcela es mediante la asociación de cultivos; sin embargo, una fracción mínima de las familias practica la rotación de cultivos. Esto es, ya que casi 90% de las familias lleva a cabo la asociación de cultivos, pero solo aproximadamente el 5% rota los cultivos. La asociación de cultivos está dada principalmente por el sistema milpa común constituido por maíz, frijol y calabaza; no obstante, algunas familias también asocian estos tres cultivos con calabacita (*Cucurbita pepo*) y/o haba (*Vicia faba*), simplemente asocian el maíz con el frijol o solo cultivan maíz. Casi el 80% (77.50%) de las familias lleva a cabo el cultivo del sistema milpa común (maíz, frijol y calabaza), 5% asocia maíz, frijol, calabaza y haba; 2.5% asocia ya sea: maíz, frijol, calabaza, calabacita y haba; maíz, frijol; o solamente maíz. Una pequeña fracción de las familias cultiva jitomate, pues el porcentaje registrado fue solo del 17.50%; sin embargo, aunque 13.51% de las familias tiene acceso tanto a parcela como invernadero, solamente 7.50% cultiva milpa y jitomate. La fertilización agrícola en la parcela es realizada principalmente mediante el uso de fertilizantes químicos. Cerca del 70% (67.50%) de las familias utiliza fertilizantes químicos, 22.50% utiliza algún tipo de abono orgánico, 27.50% no utiliza fertilizantes y 17.50% combina el método químico y orgánico. En cuanto al control de plagas, el uso de agroquímicos predomina también. Cerca del 85% del control de plagas se realiza mediante métodos químicos. Sin embargo, la maleza se elimina mediante métodos manuales. Aproximadamente el 80% de la maleza es controlada de forma manual. San Bernardino Tepehene es una comunidad donde

la disponibilidad de agua es escasa. Por tanto, el agua disponible para los cultivos proviene de la precipitación principalmente; no obstante, algunas familias tienen acceso a pozos o requieren comprar agua mediante el servicio de pipa. Casi el 100% de las familias utiliza el agua de lluvia para sus cultivos, 12.82% recurre a los pozos disponibles y 10.26% recurre a la compra de agua de pipa. Un sistema de riego es registrado solamente en los invernaderos, el cual es por goteo. Cerca del 18% de las familias cuentan con este sistema de riego. Una gran fracción de los agricultores contrata el servicio de tractor. Más del 90% de las familias utilizan el tractor agrícola. En cuanto a la disponibilidad animal, el ave de corral predomina, seguida del equino, porcino y caprino, asno y bovino. Aproximadamente 47% de la disponibilidad animal es de ave de corral, 30% es equina, 20% porcina, 20%, caprina, 17.5% es de asno y 10% es bovina. La finalidad de la producción de alimentos es para el autoconsumo principalmente y los residuos agrícolas se utilizan como parte de la alimentación animal. Cerca del 60% de las familias practica el autoconsumo, 38.46% practica el autoconsumo y comercio de excedentes; sin embargo, solo el 2.56% de las familias comercializa sin realizar el autoconsumo. Alrededor del 70% de las familias utiliza el rastrojo para la alimentación animal. Estos hallazgos evidencian que la mayoría de las familias tienen acceso a tierra de cultivo propia a una escala de producción pequeña, donde predomina el sistema milpa y algunos sistemas de producción de jitomate. Tales cultivos sembrados en la parcela son producidos con el uso de agroquímicos y el servicio de tractor; además, están constantemente en riesgo, dado que dependen solo del agua de lluvia disponible durante la temporada. Esto podría comprometer la autosuficiencia del sistema y la seguridad alimentaria de las familias que practican el autoconsumo.

**Tabla 6.2.** Porcentaje de familias con las características identificadas en los sistemas familiares de producción en la comunidad de San Bernardino Tepehene.

Característica	%
Disponibilidad de la tierra:	
Acceso a tierra de cultivo	88.00
Tierra propia	82.00
Área, sistemas de producción disponibles y prácticas agrícolas:	
Parcelas menores a 5 ha	97.06
Parcela e invernadero	13.51
Invernadero	8.11
Rotación de cultivos	5.13
Asociación de cultivos	89.74
Cultivos sembrados:	
Asociación de maíz, frijol y calabaza (milpa común)	77.50
Asociación de maíz, frijol, calabaza y haba	5.00
Asociación de maíz, frijol, calabaza, calabacita y haba	2.50
Asociación de maíz y frijol	2.50
Maíz	2.50
Jitomate en invernadero	17.50
Milpa y jitomate	7.50
Fertilización agrícola:	
Fertilizante químico	67.50
Abono orgánico	22.50
Ningún abono	27.50
Químico + Orgánico	17.50
Control de plagas:	
Químico	84.62
Control biológico	0
Manual	0
Orgánico	0
Otros (Gasolina para hormigas)	2.56
Ninguno	12.82
Control de maleza:	
Químico	20.51
Manual	79.49
Químico/Manual	7.69
Ninguno	7.69
Agua disponible para los cultivos:	
Precipitación	97.44
Pozo	12.82
Pipa	10.26
Lluvia/Pozo/Pipa	5.13
Lluvia/Pozo	5.13
Lluvia/Pipa	5.13

Sistema de riego:	
Goteo (Invernadero)	17.95
Riego en Parcela	0
Maquinaria:	
Tractor	92.50
Disponibilidad animal:	
Bovino	10.00
Asno	17.50
Porcino	20.00
Caprino	20.00
Ave de corral	47.50
Equino	30.00
Ninguno	20.00
Finalidad del sistema de producción de alimentos (parcela):	
Autoconsumo	58.97
Comercialización	2.56
Autoconsumo y Comercio de excedentes	38.46
Uso del rastrojo:	
Composta	5.13
Basura	5.13
Venta	12.82
Cobertura en suelo	5.13
Alimentación animal	66.67
Ninguno	7.69

La Tabla 6.3 muestra las características socioeconómicas de las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepenene. El principal medio de transporte es el transporte público, no obstante, una fracción considerable de la comunidad también utiliza el automóvil particular, el cual es importante para el transporte de la producción agrícola; no obstante, la bicicleta no es un medio de transporte utilizado en la comunidad. Noventa y seis por ciento de las familias requieren del transporte público, 36% utilizan el automóvil particular, 24% acostumbra utilizar el transporte animal y 0% utiliza la bicicleta. Las viviendas están construidas principalmente de block con techo y piso de cemento. Ochenta por ciento de las familias construyen sus casas con block, 98% y 84% tienen techo y piso de cemento, respectivamente. Cerca de la mitad de las viviendas tienen más de tres cuartos; pues en este caso, se registró un porcentaje del 44%. Todas las familias tienen acceso a luz y agua, 94% utiliza gas, 72% leña y 24% carbón. La mayoría de las familias que saben cuál es su ingreso aproximado tienen un ingreso mensual de entre \$MX2000 y \$MX4000;

pero cerca de la mitad de las familias no sabe cuál es su ingreso. Catorce por ciento de las familias tienen un ingreso mensual de más de \$MX2000 a \$MX3000, 14% tiene un ingreso mensual de más de \$MX3000 a \$MX4000 y 44% no sabe cuál es su ingreso. No obstante solo una fracción reducida de las familias tiene un ingreso mensual de entre \$MX1000 y \$MX2000, el cual es similar o menor a \$MX1937.58, que es el valor anual promedio de la línea rural de pobreza por ingresos (incluye la canasta alimentaria y no alimentaria) para el año del estudio (CONEVAL, no date). Tales características socioeconómicas no necesariamente corroboran el nivel alto de pobreza de la comunidad de San Bernardino Tepehene.

**Tabla 6.3.** Porcentaje de familias con las características socioeconómicas identificadas en el sistema familiar rural de la comunidad de San Bernardino Tepenene.

Característica	%
Transporte:	
Automóvil particular	36
Transporte público	96
Bicicleta	0
Animal	24
Vivienda:	
Construcciones de ladrillo	28
Construcciones de block	80
Construcciones de madera	0
Construcciones de adobe	0
Techo de lamina	6
Techo de teja	4
Techo de cemento	98
Piso de tierra	4
Piso de cemento	84
Piso de cerámica	22
1 cuarto	2
2 cuartos	14
3 cuartos	40
>3 cuartos	44
Acceso a luz y gas	100
Uso de Gas	94
Uso de Leña	72
Uso de Carbón	24
Gas/Leña	44
Gas/Carbón	2
Gas/Leña/Carbón	22
Acceso al agua potable	100
Ingreso monetario mensual:	
\$1000-\$2000	10
>\$2000-\$3000	14
>\$3000-\$4000	14
>\$4000-\$5000	8
>\$5000-\$6000	8
>6000	2
No sabe	44

La Tabla 6.4 indica las características alimenticias en la comunidad de San Bernardino Tepenene. Una alta proporción de las familias consume tres comidas al

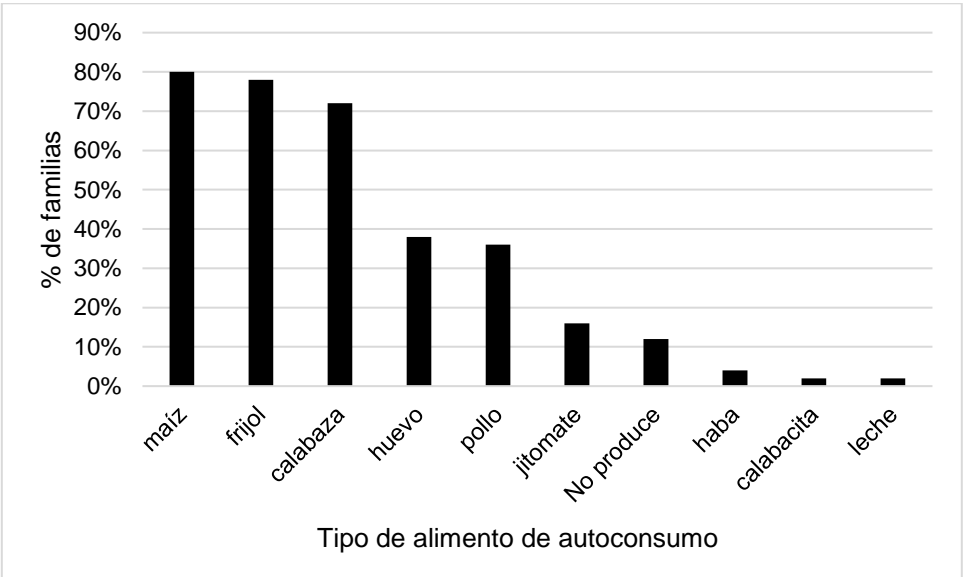
día, la mitad llega a consumir dos comidas y solo algunas consumen una sola comida. Aproximadamente 60% de las familias consume tres comidas, 50% consume dos y solo 4% consume una comida al día. La conservación de alimentos se realiza principalmente mediante refrigeración. Los datos registraron que el 94% de las familias refrigera sus alimentos. Menos de la mitad de las familias selecciona los alimentos que considera con contenido nutricional mayor; pues 42% de las familias llevan a cabo tal selección. Gran parte de las familias consume agua de pozo y menos de la mitad consume agua de garrafón. Cerca del 80% de las familias recurre al agua de pozo para preparar alimentos y beber, pero solo 42% utiliza agua de garrafón. Los datos muestran la posibilidad de las familias para acceder a tres comidas al día y conservar sus alimentos; sin embargo, la seguridad alimentaria podría estar comprometida debido que menos de la mitad de las familias hace una selección de los alimentos nutritivos.

**Tabla 6.4.** Porcentaje de familias con las características identificadas en la alimentación del sistema familiar rural en la comunidad de San Bernardino Tepenene.

Característica	%
Número de comidas al día:	
Una	4
Dos	50
Tres	64
Una a dos	2
Dos a tres	16
Conservación de alimentos:	
Refrigeración	94
Selección de alimentos más nutritivos	42
Origen del agua para preparar alimentos y beber:	
Garrafón	42
Pozo (manantial)	76
Garrafón y pozo	18

Las familias de la comunidad de San Bernardino Tepenene practican el autoconsumo de diferentes productos (Figura 6.2). El principal alimento consumido mediante esta práctica es el maíz, seguido del frijol, la calabaza, huevo, pollo, jitomate, haba, calabacita y leche. Aproximadamente 80% de las familias lleva a

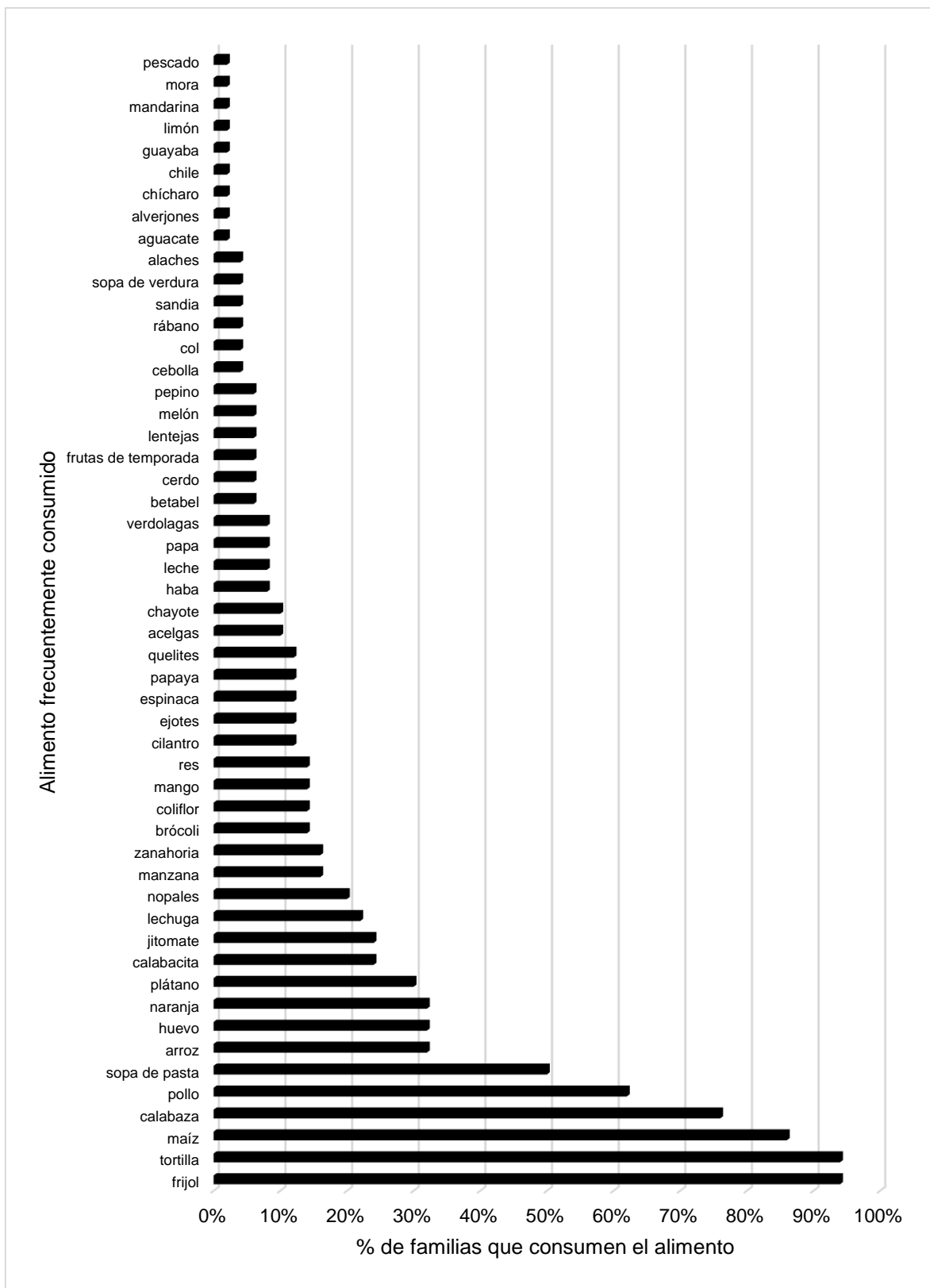
cabo la producción y consumo de maíz, cerca del 80% de frijol, más del 70% de calabaza, cerca del 40% de huevo y pollo, y menos del 20% de jitomate, haba, calabacita y leche (Figura 6.2). Estos datos demuestran la necesidad de buscar diferentes alternativas de producción que permitan complementar la dieta de autoconsumo de las familias rurales de San Bernardino Tepehene, dado que esta se basa principalmente en los productos del sistema milpa.



**Figura 6.2.** Productos alimenticios de autoconsumo y el porcentaje de familias que los consumen en la comunidad de San Bernardino Tepehene.

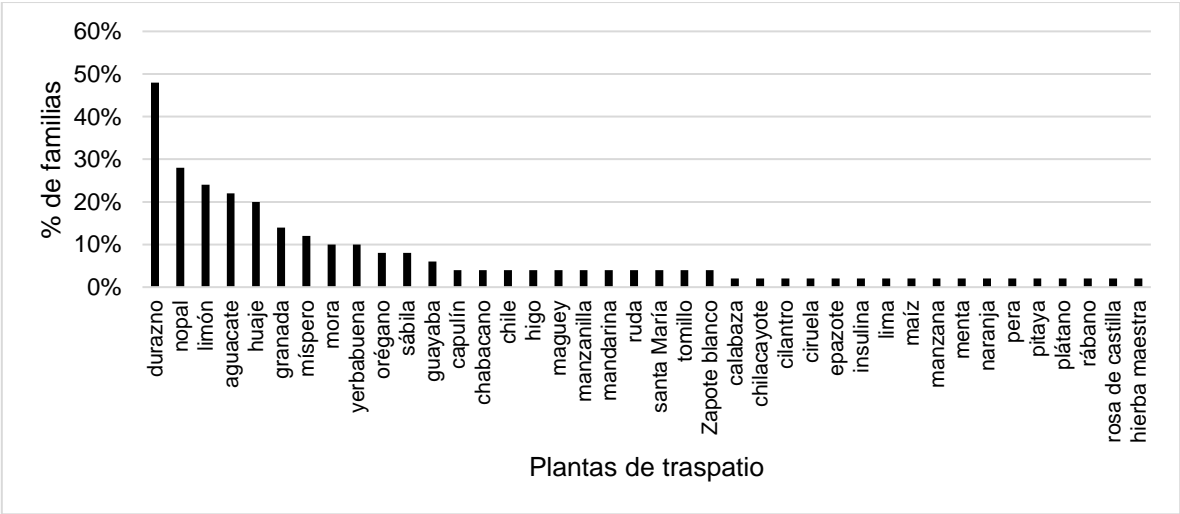
La Figura 6.3 muestra los alimentos que las familias consumen regularmente. Las familias consumen principalmente alimentos obtenidos del sistema milpa (frijol, maíz y calabaza), seguido de pollo y sopa de pasta. Sin embargo, el arroz, el huevo, la naranja y el plátano se encuentran dentro de los 10 alimentos de consumo mayor; cuyos alimentos complementan la dieta basada en el sistema milpa. Entre aproximadamente el 75 y 95% de las familias consume productos del sistema milpa. Más del 60% de las familias consume pollo, cerca del 50% consume pasta y aproximadamente 40% consume arroz, huevo, naranja y plátano. La Figura 6.3 muestra los alimentos que son consumidos en una medida menor por las familias ( $\leq 20\%$ ). Estos resultados podrían ser útiles para estimar los valores nutricionales promedio de la dieta consumida por las familias rurales de la comunidad de San

Bernardino Tepenene y realizar las recomendaciones necesarias para mejorar el consumo balanceado de nutrientes en base a la disponibilidad y acceso de alimentos. Por lo que la variedad en la producción y su rendimiento, así como la recolección de alimentos silvestres juegan un papel importante en la seguridad alimentaria de las familias rurales en la comunidad.



**Figura 6.3.** Alimentos frecuentemente consumidos en la localidad de San Bernardino Tepehene y el porcentaje de familias que los consumen.

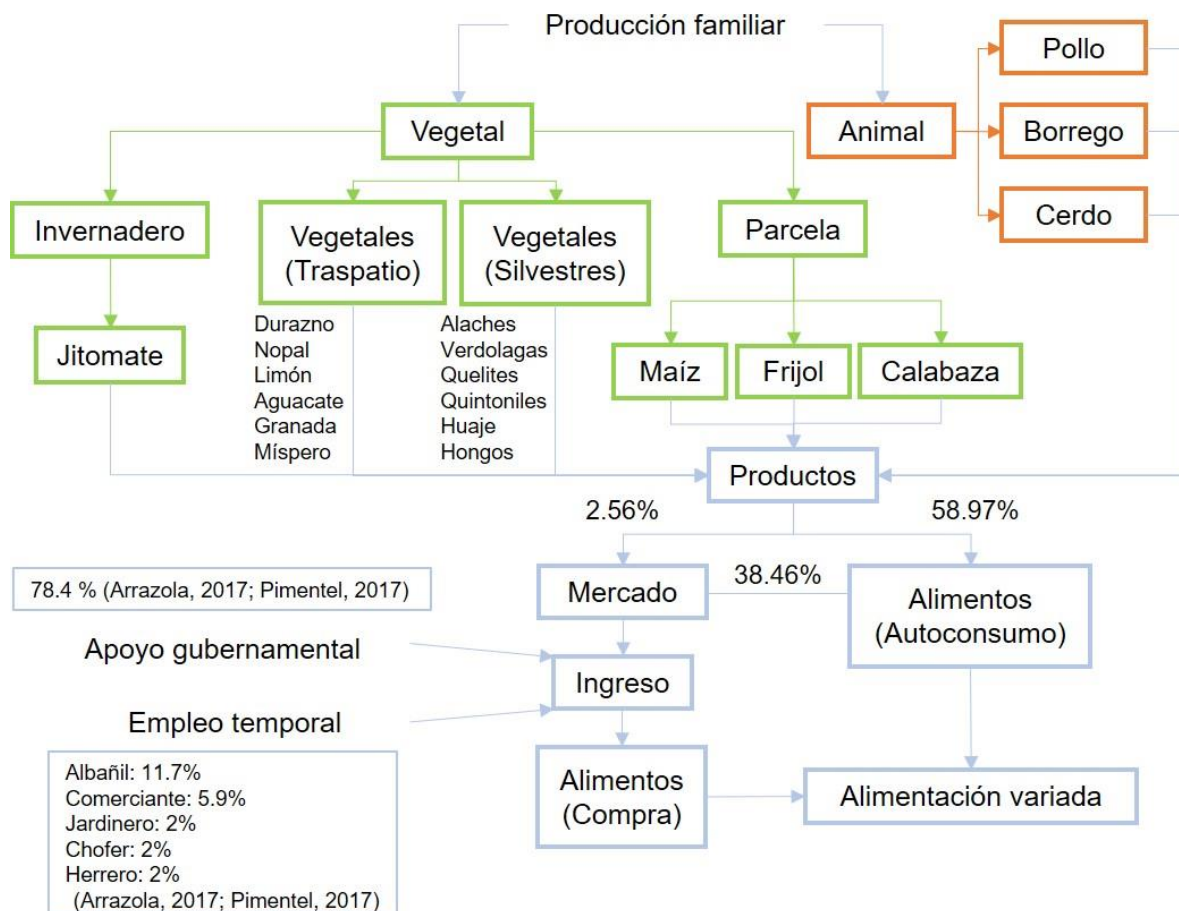
Además de los productos producidos en parcela e invernadero, y los alimentos silvestres de recolección, las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepehene tienen acceso a diferentes plantas de traspatio que les permiten complementar la dieta con diferentes productos alimenticios de temporada (Figura 6.4). La planta con una frecuencia mayor en los traspacios de las familias rurales (cerca de la mitad) es el durazno, a esta planta le sigue el nopal, limón, aguacate, huaje, granada, míspero, mora y yerbabuena, así como otras plantas menos comunes. El árbol de durazno está presente en el 48% de las familias y las plantas mencionadas que le siguen están presentes en entre el 28 y 10% de las familias (Figura 6.4). Las plantas menos comunes están presentes en menos del 10% de las familias (Figura 6.4). La amplia variedad de plantas de traspatio presentes en la comunidad de San Bernardino indica la posibilidad de que las familias puedan tener una disponibilidad mayor de alimentos variados para satisfacer sus necesidades nutricionales.



**Figura 6.4.** Frecuencia en la posesión de plantas de traspatio en las familias de San Bernardino Tepehene, Puebla.

La Figura 6.5 muestra el diagrama de flujo del sistema alimentario familiar. La producción familiar se divide en vegetal y animal. La producción vegetal se realiza en la parcela, invernadero y traspatio; sin embargo, los vegetales silvestres también

se consideraron. La producción animal incluye pollo, borrego y cerdo, principalmente. Los cultivos producidos son el jitomate en invernadero y la milpa en la parcela; no obstante, las familias obtienen algunos productos del traspatio [tales como el durazno, nopal, limón, aguacate, granada, míspero (ver Figuras 8.4 y 8.5)] y recolectan vegetales silvestres [alaches, verdolagas, quelites, quintoniles, huaje, hongos, etcétera (ver Figuras 8.1 y 8.5)]. Una gran proporción de las familias (58.97%) destina la producción familiar para el autoconsumo y una proporción mínima (2.56%) comercializa los productos producidos; sin embargo, una combinación comercialización-autoconsumo es llevada a cabo por el 38.46% de las familias (Figura 6.5). El ingreso de la venta de productos producidos, junto con el del apoyo de gobierno y el empleo temporal, son utilizados para complementar y variar la dieta (Figura 6.5).

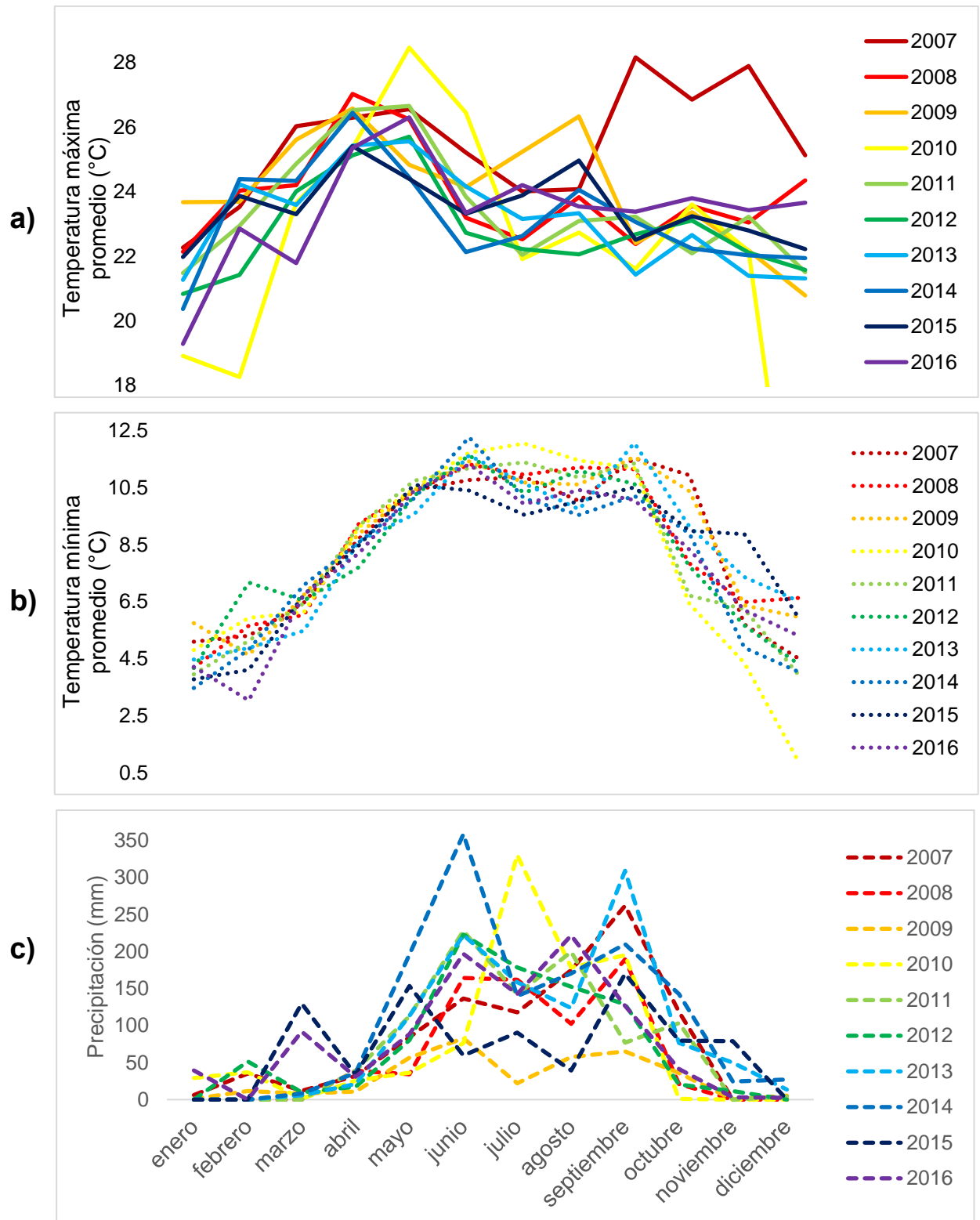


**Figura 6.5.** Diagrama de flujo del sistema alimentario familiar de San Bernardino Tepenene. La producción vegetal, producción animal y el destino de los alimentos producidos se muestran en verde, naranja y azul, respectivamente.

### 6.3. Análisis climático

La Figura 6.6 muestra el clima en la comunidad de San Bernardino Tepenene durante un periodo reciente de diez años. La temperatura máxima más alta se registró durante abril y mayo, descendió en julio y permaneció similar hasta diciembre. La temperatura mínima más baja se registró en enero, febrero y diciembre, pero ascendió hasta alcanzar un máximo entre junio y septiembre. La mayor cantidad de precipitación se registró entre los meses de mayo y octubre. La temperatura máxima promedio más alta registrada en abril y mayo fue de 28°C y la de julio a diciembre de 22-24°C. La temperatura mínima promedio durante

diciembre, enero y febrero fue de 3°C a 6.5°C y de aproximadamente 10°C en los meses de entre junio y septiembre. La precipitación registrada durante mayo y octubre fue de entre 50 y 350 mm. Los datos mostrados permiten identificar el comportamiento del clima en el tiempo, lo cual es útil para identificar el mejor manejo de los cultivos de acuerdo a la temporada.



**Figura 6.6.** Clima promedio mensual en la comunidad de San Bernardino Tepehene durante el periodo 2007-2016. a) Temperatura máxima, b) Temperatura mínima y c) Precipitación.

Plantas con estrés hídrico y por calor fueron identificadas a través de la investigación cualitativa realizada en la comunidad de San Bernardino Tepehene. Las familias productoras de jitomate expresaron tener afectaciones en los cultivos por temperaturas bajas. Por otra parte, una falta de agua fue observada durante la etapa de desarrollo vegetativo y floración del maíz. Una reducción del desarrollo foliar y espigas de maíz disminuidas en número de grano fueron identificadas en los cultivos de la milpa (Figura 6.7).



a)

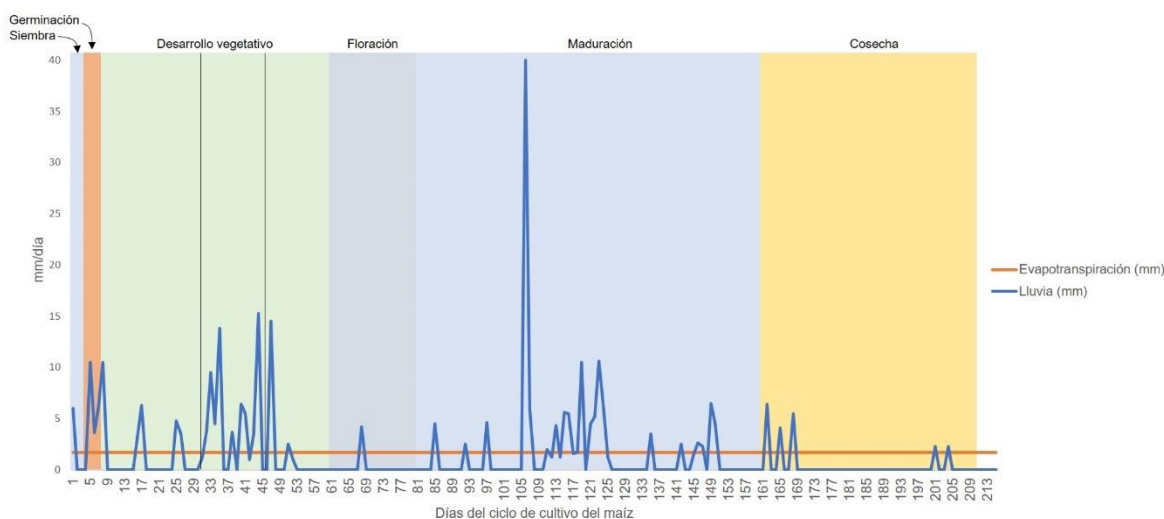


b)

**Figura 6.7.** Efectos de la falta de agua en los cultivos de la comunidad de San Bernardino Tepehene. a) Fotografía de una planta de maíz con una reducción del desarrollo vegetativo causada por estrés hídrico. b) Fotografía de una espiga de maíz con una reducción drástica del número de granos debido a la falta de polinización por estrés hídrico.

La Figura 6.8 muestra la cantidad diaria promedio de agua evapotranspirada en los cultivos del sistema milpa familiar durante su ciclo vegetativo comparada con la cantidad diaria de lluvia en el año menos lluvioso del periodo 2007-2016. Una cantidad de agua de lluvia suficiente se registró durante la etapa de siembra, germinación, la mayor parte del desarrollo vegetativo y la parte intermedia de la maduración del ciclo de cultivo del sistema milpa; sin embargo, al final del desarrollo vegetativo, durante todo el proceso de floración y el inicio de la maduración, se registró una cantidad de agua de lluvia insuficiente. La cantidad de agua diaria promedio requerida por los cultivos del sistema milpa es de 1,68 mm. Sin embargo,

una cantidad de lluvia igual a 0 mm fue registrada en 53 de los 58 días comprendidos entre el día 48 a 105 del ciclo de cultivo del sistema milpa (última parte de la etapa de desarrollo vegetal, etapa de floración y el inicio de la etapa de maduración); además, los 5 días con lluvia solo registraron 2,5, 4.2, 4.5, 2.5 y 4.6 mm de agua, lo cual equivale a 18.3 mm de los 97.44 mm requeridos en la fracción analizada del ciclo de cultivo (1.68 mm/día por los 58 días comprendidos entre el día 48 a 105 del ciclo de cultivo de la milpa). Este resultado muestra la escasez de agua que puede haber durante periodos específicos de los cultivos en la comunidad de San Bernardino Tepehene, la cual afecta drásticamente los cultivos.

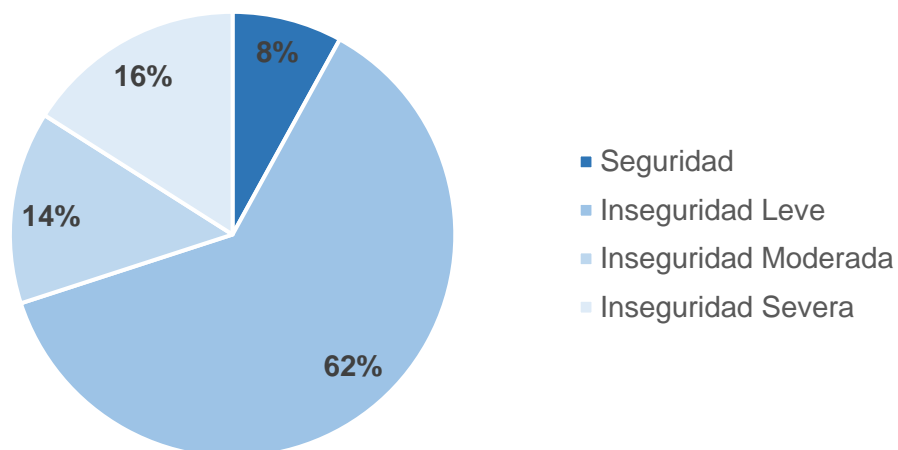


**Figura 6.8.** Comparación entre la cantidad diaria promedio de evapotranspiración en el año 2018 durante el ciclo de cultivo del sistema milpa y la cantidad diaria de lluvia en el año menos lluvioso del periodo 2007-2016. Las etapas del ciclo del maíz se muestran en colores.

#### 6.4. Evaluación de la seguridad alimentaria

La inseguridad alimentaria leve predominó en las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepehene; sin embargo, una cantidad reducida de familias se encontró en un estado de seguridad alimentaria. El porcentaje de familias que presentó inseguridad alimentaria leve fue de 62%, 14% de las familias presentó inseguridad moderada y 16% inseguridad severa (Figura 6.9). Por otro lado, el estado de seguridad alimentaria solo se presentó en 8% de las familias (Figura 6.9).

Tales resultados demuestran la importancia de identificar el mejor desempeño del sistema familiar rural que permita un acceso y disponibilidad mayor de alimentos.



**Figura 6.9.** Porcentaje de familias en estado de seguridad alimentaria y grados diferentes de inseguridad alimentaria en la comunidad de San Bernardino Tepenene durante el año 2018.

## 6.5. Determinación del aporte nutricional

### 6.5.1. Consumo de energía y macronutrientes

El consumo adecuado de nutrientes es esencial para mantener una vida sana y productiva. La Tabla 6.5 muestra la cantidad de macronutrientes disponibles para las familias rurales en la comunidad de San Bernardino Tepenene a partir de los productos del sistema milpa familiar y otros productos destinados al autoconsumo. La cantidad mayor de macronutrientes fue proporcionada por el grano de maíz para el caso del sistema milpa, la leche en la producción animal-invernadero y el aguacate en las plantas de traspatio. El grano de maíz proporcionó la cantidad mayor de macronutrientes al año:  $1.12E+06$  gramos de carbohidratos,  $7.12E+04$  gramos de grasa y  $1.42E+05$  gramos de proteína. En cuanto a la leche y el aguacate, estos proporcionaron  $2.04E+04$  y  $4.27E+03$  gramos de carbohidratos,  $1.47E+04$  y  $7.33E+03$  gramos de grasa, así como  $1.46E+04$  y  $1.00E+03$  gramos de proteína, respectivamente. Por otro lado, el frijol, pollo, jitomate, nopal, verdolagas

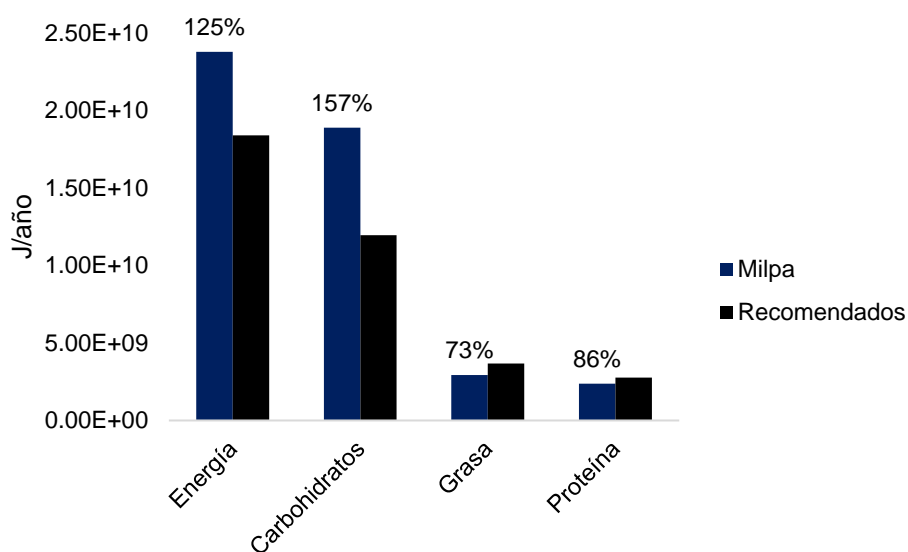
proporcionaron una cantidad de macronutrientes baja; no obstante, el pollo es una fuente importante de proteína en la cantidad adecuada. Tales productos con contenido bajo de macronutrientes aportaron solo 1.05E+03, 0.00E+00, 5.41E+03, 1.06E+03 y 6.00E+02 gramos de carbohidratos; 1.45E+01, 2.08E+03, 3.53E+02, 2.56E+01 y 7.33E+03 gramos de grasa; y 6.91E+06, 1.45E+04, 9.40E+02, 7.04E+01 y 2.40E+02 gramos de proteína; respectivamente. Estos resultados proporcionan evidencia de la cantidad de macronutrientes que son comúnmente consumidos en una familia promedio de la comunidad de San Bernardino Tepenene, lo cual permite construir sistemas de producción diseñados para combatir el déficit de macronutrientes para mejorar la seguridad alimentaria.

**Tabla 6.5.** Macronutrientes proporcionados por cantidad total de productos producidos en el sistema milpa familiar y algunos alimentos de autoconsumo disponibles en una familia rural promedio de San Bernardino Tepenene.

	Alimento	Cantidad (g seco/año)	Energía (J/año)	Carbohidratos (g/año)	Carbohidratos (J/año)	Grasa (g/año)	Grasa (J/año)	Proteína (g/año)	Proteína (J/año)	
1	Milpa	Grano de maíz	1.35E+06	2.30E+10	1.12E+06	1.87E+10	7.12E+04	2.68E+09	1.42E+05	2.37E+09
2		Frijol	1.54E+03	2.44E+07	1.05E+03	1.76E+07	1.45E+01	5.47E+05	4.13E+02	6.91E+06
3		Calabaza	7.73E+03	1.08E+08	6.53E+03	1.09E+08	1.72E+02	6.47E+06	5.15E+02	8.62E+06
4	Producción animal-Invernadero	Huevo	1.01E+04	2.56E+08	3.20E+02	5.36E+06	4.14E+03	1.56E+08	5.23E+03	3.13E-01
5		Pollo	1.66E+04	3.37E+08	0.00E+00	0.00E+00	2.08E+03	7.85E+07	1.45E+04	8.65E-01
6		Jitomate	7.29E+03	1.03E+08	5.41E+03	9.05E+07	3.53E+02	1.33E+07	9.40E+02	5.62E-02
7		Leche	5.28E+04	1.14E+09	2.04E+04	3.42E+08	1.47E+04	5.53E+08	1.46E+04	8.70E-01
8	Plantas de Traspatio	Durazno	8.82E+03	1.31E+08	7.98E+03	1.34E+08	1.20E+02	4.52E+06	4.80E+02	2.87E-02
9		Nopal	1.19E+03	1.79E+07	1.06E+03	1.78E+07	2.56E+01	9.64E+05	7.04E+01	4.21E-03
10		Limón	4.64E+03	5.23E+07	4.32E+03	7.22E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.90E+02	1.14E-02
11		Aguacate	1.34E+04	3.35E+08	4.27E+03	7.14E+07	7.33E+03	2.76E+08	1.00E+03	5.98E-02
12		Guayaba	5.28E+03	8.11E+07	4.52E+03	7.57E+07	2.28E+02	8.58E+06	3.04E+02	1.82E-02
13	Silvestre	Verdolagas	1.06E+03	1.31E+07	6.00E+02	1.00E+07	4.80E+01	1.81E+06	2.40E+02	1.43E-02

La cantidad proporcionada de carbohidratos y energía por el sistema milpa sobrepasó la cantidad familiar recomendada, según una actividad física de moderada a fuerte. La cantidad disponible de energía y carbohidratos en los cultivos del sistema milpa excedió en un 25% y 57% la cantidad familiar de energía y carbohidratos recomendada, respectivamente (Figura 6.10). Sin embargo, la

cantidad de grasa y proteína fue ligeramente deficiente. El sistema milpa proporcionó 73% y 86% de la grasa y proteína recomendada, respectivamente (Figura 6.10). Tales datos muestran la importancia del sistema milpa para satisfacer la demanda de energía en forma de macronutrientes, carbohidratos principalmente; no obstante, el sistema milpa proporcionó una fracción elevada de la grasa y proteína requerida en una familia promedio de la comunidad de San Bernardino Tepehene.



**Figura 6.10.** Comparación y porcentaje de cobertura de macronutrientes proporcionados por la cantidad total de productos producidos en el sistema milpa con respecto a la recomendación familiar nutricional bajo una actividad física de moderada (fuera del ciclo de cultivo de milpa) a fuerte (ciclo del cultivo de milpa).

### 6.5.2. Consumo de micronutrientes

El consumo de alimentos ricos en energía no es suficiente para llevar a cabo una vida sana y productiva, pues requerimos el consumo de micronutrientes que permiten un correcto funcionamiento del metabolismo. La Tabla 6.6 muestra la cantidad de micronutrientes inorgánicos consumidos por una familia promedio en San Bernardino Tepehene. El alimento que proporcionó la cantidad mayor de calcio fue la leche, pero la cantidad mayor de hierro, magnesio, fósforo, potasio, sodio y

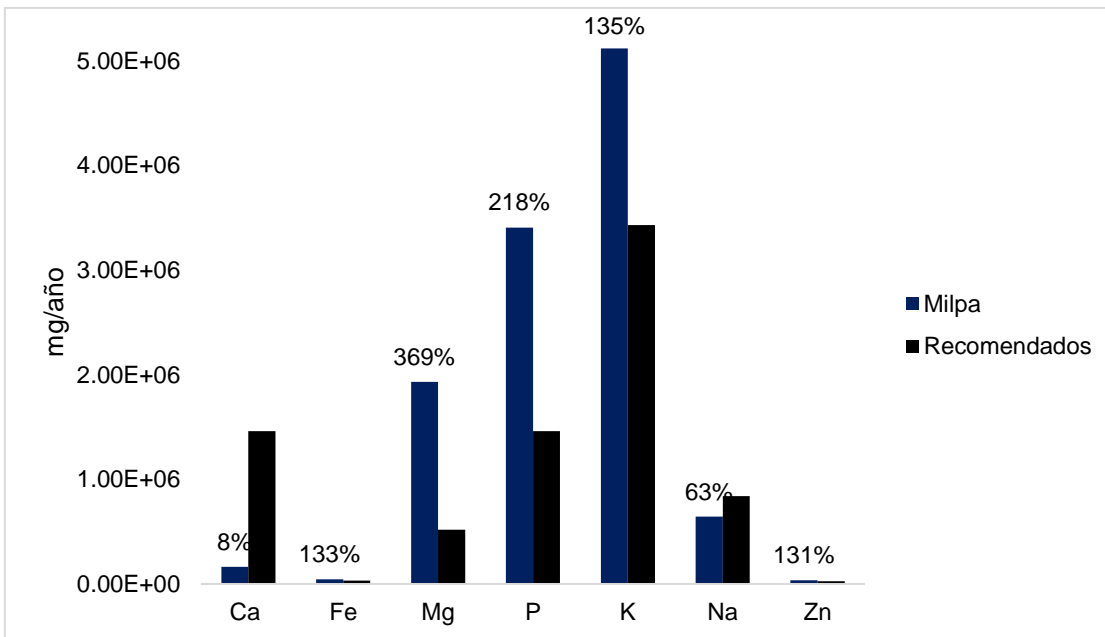
zinc fue aportada por el grano de maíz. La leche proporcionó 5.11E+05 mg/año de calcio y el maíz aportó por año 4.07E+04 mg de hierro, 1.91E+06 mg de magnesio, 3.16E+06 mg de fósforo, 4.31E+06 mg de potasio, 5.26E+05 mg de sodio y 3.32E+04 mg de zinc. Los datos mostrados indican la importancia del sistema milpa como fuente de micronutrientes inorgánicos, excepto de calcio, el cual está presente en la leche en una cantidad mayor. Sin embargo, es importante recalcar que los datos mostrados están basados en la cantidad producida al año y no en la cantidad por una masa específica. Por tanto, es de esperar que si el grano de maíz es el alimento presente en cantidad mayor (Tabla 6.6), su aporte nutricional sea mayor.

**Tabla 6.6.** Micronutrientes inorgánicos proporcionados por cantidad total de productos producidos en el sistema milpa familiar y algunos alimentos de autoconsumo disponibles en una familia rural promedio de San Bernardino Tepehene.

	Alimento	Cantidad (g seco/año)	Ca	Fe	Mg	P	K	Na	Zn	
			(mg/año)							
1	Grano de maíz	1.35E+06	1.05E+05	4.07E+04	1.91E+06	3.16E+06	4.31E+06	5.26E+05	3.32E+04	
2	Milpa	Frijol	1.54E+03	2.50E+03	1.44E+02	2.45E+03	7.12E+03	2.46E+04	4.20E+02	4.88E+01
3		Calabaza	7.73E+03	1.63E+04	4.29E+02	S/D	1.89E+04	2.92E+05	8.59E+02	2.75E+02
4		Huevo	1.01E+04	2.20E+04	7.61E+02	4.99E+03	7.95E+04	5.57E+04	5.82E+04	4.62E+02
5	Producción animal-	Pollo	1.66E+04	8.12E+03	6.02E+02	1.69E+04	1.17E+05	1.55E+05	5.21E+04	1.04E+03
6	Invernadero	Jitomate	7.29E+03	8.23E+03	7.05E+02	S/D	2.82E+04	2.79E+05	5.88E+03	2.00E+02
7		Leche	5.28E+04	5.11E+05	1.36E+02	4.52E+04	4.11E+05	6.46E+05	1.81E+05	1.81E+03
8		Durazno	8.82E+03	7.20E+03	6.60E+02	S/D	1.56E+04	1.14E+05	0.00E+00	1.02E+02
9		Nopal	1.19E+03	3.65E+03	7.68E+01	S/D	2.05E+03	1.41E+04	3.20E+02	7.68E+00
10	Plantas de traspatio	Limón	4.64E+03	3.50E+03	1.50E+01	3.00E+03	3.00E+03	6.20E+04	5.00E+02	2.50E+01
11		Aguacate	1.34E+04	6.00E+03	2.75E+02	1.45E+04	2.60E+04	2.43E+05	3.50E+03	3.20E+02
12		Guayaba	5.28E+03	7.60E+03	1.14E+02	3.80E+03	S/D	1.08E+05	1.14E+03	8.74E+01
13	Silvestre	Verdolagas	1.06E+03	9.48E+03	4.32E+02	S/D	3.84E+03	5.93E+04	5.40E+03	2.04E+01

El sistema milpa satisface en exceso la cantidad de micronutrientes inorgánicos requeridos en una familia promedio de la comunidad de San Bernardino Tepehene, excepto por el calcio y el sodio. Los productos del sistema milpa aportaron 8% y 63% de la cantidad de calcio y sodio requerida en una familia promedio de la comunidad; sin embargo, proporcionaron 133%, 369%, 218%, 135% y 131% de la cantidad de hierro, magnesio, fósforo, potasio y zinc requerida, respectivamente

(Figura 6.11). Los datos mostrados evidencian el valor alto de micronutrientes inorgánicos presentes en los productos de la milpa, principalmente el maíz.



**Figura 6.11.** Comparación y porcentaje de cobertura de micronutrientes inorgánicos proporcionados por la cantidad total de productos producidos en el sistema milpa con respecto a la recomendación familiar nutricional.

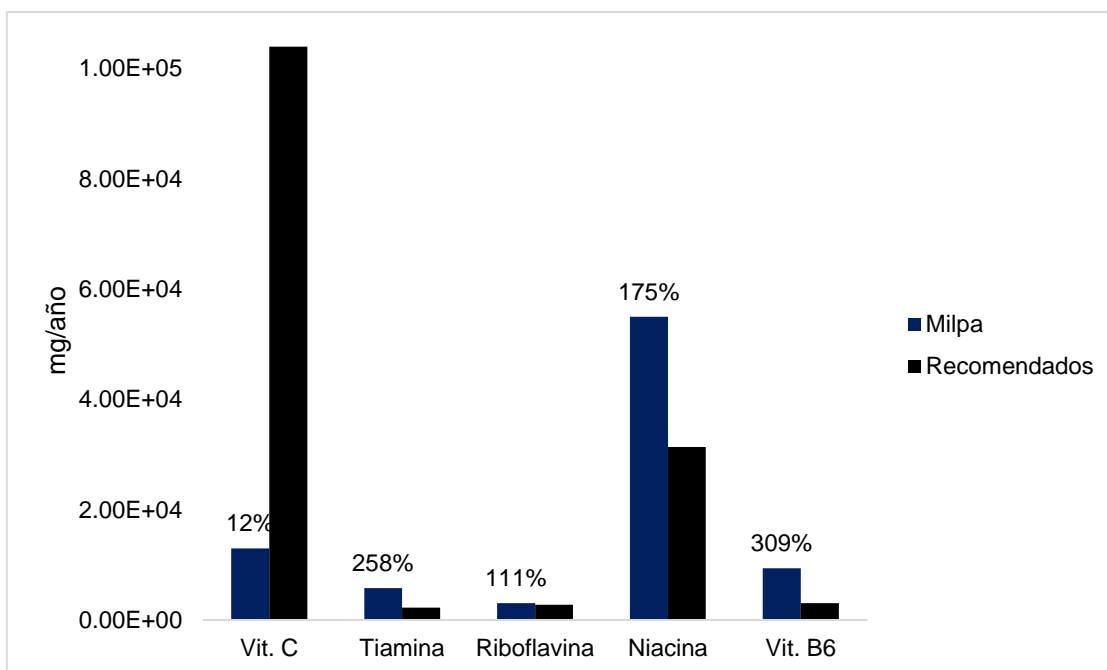
La Tabla 6.7 muestra la cantidad de micronutrientes orgánicos proporcionados por el sistema milpa familiar y otros productos de autoconsumo producidos en la comunidad de San Bernardino Tepehene. El maíz, el principal producto de autoconsumo en la comunidad, no aportó vitamina C, vitamina B12 y vitamina A. No obstante, la guayaba aportó la cantidad mayor de vitamina C y la leche la cantidad mayor de vitamina B12 y vitamina A; aunque la calabaza aportó una cantidad de vitamina A similar a la que aportó la leche. La guayaba tuvo una aportación anual de  $6.95E+04$  mg de vitamina C y la leche aportó  $1.99E+03$  mcg de vitamina B12 y  $1.27E+05$  mcg de vitamina A. Por otro lado, el maíz es el producto que aportó la cantidad mayor de tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B6 y folato. La cantidad anual de nutrientes aportados por el maíz fue  $5.71E+03$  mg de tiamina,  $3.01E+03$  mg de riboflavina,  $5.46E+04$  mg de niacina,  $9.32E+03$  mg de vitamina B6 y  $2.86E+05$  mcg de folato. El resultado vuelve a indicar la importancia del sistema

milpa en la dieta de las familias en la comunidad de San Bernardino Tepehene y la necesidad de complementar la dieta para satisfacer los requerimientos nutricionales que los productos del sistema milpa no proporcionan, tales como las vitaminas C, B12 y A.

**Tabla 6.7.** Micronutrientes orgánicos proporcionados por cantidad total de productos producidos en el sistema milpa familiar y algunos alimentos de autoconsumo disponibles en una familia rural promedio de San Bernardino Tepehene.

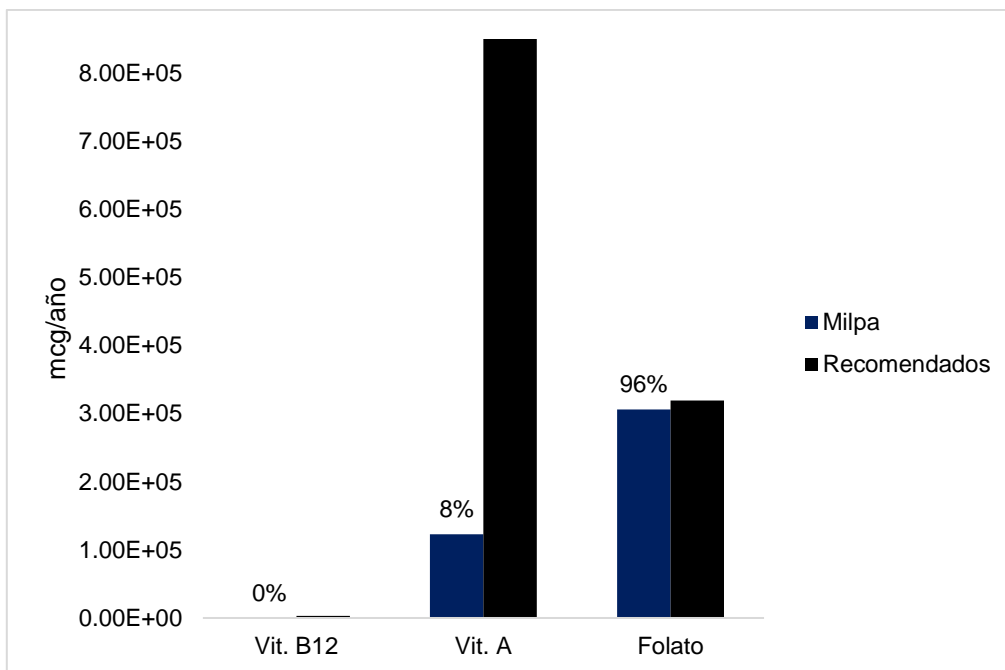
	Alimento	Cantidad (g seco/año)	Vit. C	Tiamina	Riboflavina (mg/año)	Niacina	Vit. B6	Vit. B12	Vit. A (mcg/año)	Folato	
1	Grano de maíz	1.35E+06	0.00E+00	5.71E+03	3.01E+03	5.46E+04	9.32E+03	0.00E+00	0.00E+00	2.86E+05	
2	Milpa	Frijol	1.54E+03	8.75E+01	9.28E+00	3.85E+00	3.61E+01	7.00E+00	0.00E+00	6.90E+03	
3		Calabaza	7.73E+03	1.29E+04	3.43E+01	3.43E+01	4.29E+02	5.15E+01	0.00E+00	1.23E+05	1.37E+04
4		Huevo	1.01E+04	0.00E+00	2.91E+01	2.00E+02	2.91E+01	5.82E+01	5.37E+02	5.82E+04	1.96E+04
5	Producción animal-	Pollo	1.66E+04	1.35E+03	4.74E+01	9.48E+01	5.58E+03	2.91E+02	2.50E+02	1.08E+04	4.74E+03
6	Invernadero	Jitomate	7.29E+03	2.70E+04	7.05E+01	5.88E+01	8.23E+02	9.40E+01	0.00E+00	4.94E+04	1.76E+04
7		Leche	5.28E+04	0.00E+00	1.81E+02	8.14E+02	4.97E+02	1.81E+02	1.99E+03	1.27E+05	2.26E+04
8		Durazno	8.82E+03	1.68E+04	1.80E+01	3.60E+01	2.40E+02	1.80E+01	0.00E+00	9.60E+03	2.40E+03
9		Nopal	1.19E+03	1.15E+03	6.40E-01	1.28E+00	1.92E+01	3.84E+00	0.00E+00	1.28E+02	3.84E+02
10	Plantas de traspatio	Limón	4.64E+03	2.30E+04	1.50E+01	5.00E+00	5.00E+01	2.50E+01	0.00E+00	5.00E+02	6.50E+03
11		Aguacate	1.34E+04	5.00E+03	3.50E+01	6.50E+01	8.70E+02	1.30E+02	0.00E+00	3.50E+03	4.05E+04
12		Guayaba	5.28E+03	6.95E+04	1.90E+01	1.90E+01	4.56E+02	5.32E+01	0.00E+00	1.22E+04	S/D
13	Silvestre	Verdolagas	1.06E+03	2.76E+03	2.40E+00	1.20E+01	6.00E+01	8.40E+00	0.00E+00	7.92E+03	1.44E+03

La cantidad total de productos producidos en el sistema milpa familiar aportaron la cantidad recomendada de micronutrientes orgánicos, excepto de vitamina C; incluso, tal cantidad fue superada por hasta tres veces en el caso de la vitamina B6. El sistema milpa cubrió el 12% de la cantidad recomendada de vitamina C, pero cubrió 258%, 111%, 175% y 309% de la cantidad recomendada de tiamina, riboflavina, niacina y vitamina B6, respectivamente (Figura 6.12).



**Figura 6.12.** Comparación y porcentaje de cobertura de micronutrientes orgánicos proporcionados por la cantidad total de productos producidos en el sistema milpa con respecto a la recomendación familiar nutricional.

La Figura 6.13 compara la cantidad de micronutrientes orgánicos en forma de oligoelementos aportados en los productos del sistema milpa familiar con la cantidad recomendada para una familia promedio de la comunidad de San Bernardino Tepenene. El sistema milpa familiar aportó una cantidad de folatos muy cercana a la cantidad recomendada. Tal sistema de producción proporcionó 96% de los folatos que una familia promedio requiere. Sin embargo, el sistema milpa familiar no proporcionó vitamina B12 y solo proporcionó una fracción reducida de vitamina A. Cero por ciento de la cantidad recomendada de vitamina B12 y solamente 8% de la de vitamina A fue proporcionada por el sistema milpa. Este resultado indica la necesidad de incluir alimentos ricos en vitamina B12 y A en la dieta de las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepenene; entre ellos alimentos de origen animal, ricos en vitamina B12, puesto que los alimentos de origen vegetal carecen de esta importante vitamina.



**Figura 6.13.** Comparación y porcentaje de cobertura de micronutrientes orgánicos (oligoelementos) proporcionados por la cantidad total de productos producidos en el sistema milpa con respecto a la recomendación familiar nutricional.

La Tabla 6.8 muestra los macro y micronutrientes que el sistema milpa aportó en cantidad insuficiente de acuerdo a la recomendación nutricional familiar, pero que van siendo cubiertos conforme aumentan los alimentos de autoconsumo. Una dieta basada en los productos producidos en el sistema milpa aportó la mayoría de los nutrientes requeridos por una familia promedio de la comunidad de San Bernardino Tepenene. Sin embargo, la dieta de la milpa en la comunidad de estudio no cubrió la cantidad recomendada de grasa, proteína, calcio, sodio, y de las vitaminas C, B12 y A. El sistema milpa proporcionó 73%, 86%, 8%, 63%, 12%, 0% y 15% de la cantidad recomendada de grasa, proteína, calcio, sodio y de las vitaminas C, B12 y A, respectivamente, para una familia promedio de la comunidad (Tabla 6.8). Conforme se fueron considerando otros productos de autoconsumo, incluidos los únicos alimentos de origen animal (huevo, pollo y leche), la cantidad recomendada de grasa, sodio y vitamina C fue cubierta, la de vitamina B12 aumentó hasta cubrir una fracción elevada de la cantidad recomendada, el calcio y la vitamina A cubrió una cantidad intermedia, pero la proteína se mantuvo sin cambios. Los productos

de autoconsumo considerados en la Tabla 6.8 proporcionaron 103%, 99%, 153%, 85%, 49%, 48% y 86% de la cantidad de grasa, sodio, vitamina C, vitamina B12, calcio, vitamina A y proteína recomendada, respectivamente. Tal resultado evidencia la necesidad de plantear estrategias que permitan complementar la dieta con alimentos de autoconsumo basados en la deficiencia de proteína, calcio, vitaminas B12 y A.

**Tabla 6.8.** Porcentaje de cobertura de los macronutrientes y micronutrientes que el sistema milpa aporta en cantidad insuficiente de acuerdo a la recomendación nutricional familiar y el incremento de cobertura conforme el número de alimentos de autoconsumo disponibles en una familia rural promedio de San Bernardino Tepehene aumenta.

	Alimento	Cantidad (g seco/año)	Fuente	Grasa	Proteína	Ca	Na (%)	Vit. C	Vit. B12	Vit. A
1	Milpa	<b>Maíz</b>	Rend. Milpa	73%	86%	7%	63%	0%	0%	0%
2		<b>1, Frijol</b>	Rend. Milpa	73%	86%	7%	63%	0%	0%	0%
3		<b>1-2, Calabaza</b>	Rend. Milpa	73%	86%	8%	63%	12%	0%	15%
4	Producción animal-invernadero	<b>1-3, Huevo</b>	Encuesta	77%	86%	10%	70%	12%	16%	22%
5		<b>1-4, Pollo</b>	Encuesta	79%	86%	11%	76%	14%	24%	23%
6		<b>1-5, Jitomate</b>	Encuesta	80%	86%	11%	77%	40%	24%	29%
7		<b>1-6, Leche</b>	Encuesta	95%	86%	46%	98%	40%	85%	44%
8	Plantas de traspatio	<b>1-7, Durazno</b>	Prod./planta	95%	86%	47%	98%	56%	85%	45%
9		<b>1-8, Nopal</b>	Prod./planta	95%	86%	47%	98%	57%	85%	45%
10		<b>1-9, Limón</b>	Prod./planta	95%	86%	47%	98%	79%	85%	45%
11		<b>1-10, Aguacate</b>	Prod./planta	102%	86%	48%	99%	84%	85%	45%
12		<b>1-11, Guayaba</b>	Prod./planta	103%	86%	48%	99%	151%	85%	47%
13	Silvestre	<b>1-12, Verdolaga</b>	Entrevista	103%	86%	49%	99%	153%	85%	48%

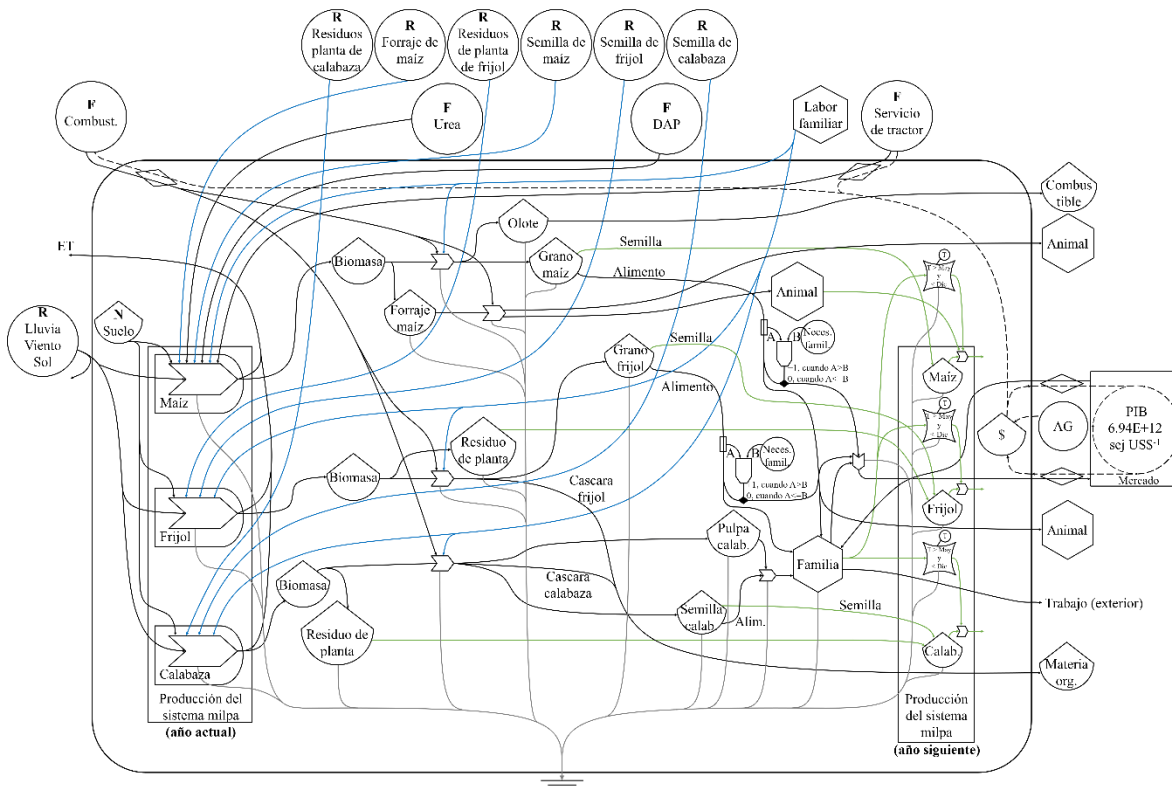
## 6.6. Evaluación de la autosuficiencia y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas familiares en base a la emergía

### 6.6.1. Evaluación del sistema milpa familiar

#### Descripción del diagrama de emergía del sistema.

La Figura 6.14 muestra los recursos utilizados en la producción de cultivos del sistema milpa familiar, así como el flujo de emergía que soporta la producción de varios coproductos y divisiones (splits). Los granos o semillas (grano de maíz, grano de frijol y semilla de calabaza) se dividieron (split) en biomasa consumida como alimento y biomasa utilizada como semilla para el cultivo del siguiente año. En la

comunidad, los recursos adquiridos (F) utilizados para la producción de cultivos se obtienen regularmente con el ingreso recibido de trabajos temporales, asistencia de gobierno y/o el ingreso de la venta de productos agrícolas. Los fertilizantes se proporcionaron en especie por el gobierno. En este estudio, el apoyo monetario proporcionado por el gobierno se utilizó para pagar una fracción del servicio de tractor (64.03%). Por tanto, el servicio de tractor se consideró en la evaluación de emergencia y no la asistencia de gobierno para evitar doble conteo. El alimento producido en el sistema milpa familiar (grano de maíz, grano de frijol, semilla de calabaza y pulpa de calabaza) es consumido por la familia principalmente, pero si hay excedente, este se comercializa; sin embargo, no se registraron excedentes en este estudio. El mismo proceso se lleva a cabo en el sistema milpa familiar cada año agrícola. Las semillas para la plantación, forraje de maíz y la materia orgánica de los residuos de plantas son los productos de la producción agrícola de años pasados que se utilizan para soportar la producción en el año actual. Estas entradas aplazadas se utilizaron como entradas desde el año anterior, consideradas como retroalimentación a la producción actual del sistema milpa familiar. Estas vías de refuerzo maximizan el desempeño y sostenibilidad del sistema (Odum, 1996).



**Figura 6.14.** Diagrama de lenguaje de sistemas de energía (Odum, 1971a, 1971b, 1996) del sistema milpa familiar en la comunidad de San Bernardino Tepenene, el cual muestra los flujos de emergía. R: Recursos renovables locales; N: Recursos no renovables locales; F: Recursos adquiridos; ET: Evapotranspiración; DAP: Fosfato diamónico; AG: Asistencia de gobierno; PIB: Producto Interno Bruto; las líneas discontinuas son flujos de dinero, las líneas grises muestran la energía disponible utilizada, las líneas azules muestran las entradas de emergía del año anterior y las líneas verdes indican los productos que se utilizaran en la producción del año siguiente.

### Recursos renovables locales

La Tabla 6.9 muestra la emergía utilizada en el sistema milpa familiar durante el año agrícola evaluado en la comunidad de San Bernardino Tepenene. Los recursos renovables locales constituyeron la entrada mayor de emergía al sistema milpa familiar. La emergía total utilizada en el sistema (U) fue  $1.84E+16$  sej  $ha^{-1}$  año $^{-1}$ , de la cual  $1.33E+16$  sej  $ha^{-1}$  año $^{-1}$  fue renovable, la cual corresponde a 72.16% (0.18% de luz solar, 2.70% de lluvia y el restante 69.28% de la emergía total utilizada de las

retroalimentaciones de refuerzo). Entre las retroalimentaciones de refuerzo, la labor de campo renovable y la labor postcosecha contabilizaron las proporciones más altas de la energía utilizada en el sistema milpa familiar; la proporción del uso de energía total atribuible a estos recursos fue 33.07% y 31.98%, respectivamente. La cantidad alta de recursos renovables locales tiene un impacto positivo en el desempeño y sostenibilidad del sistema milpa familiar.

**Tabla 6.9.** Emergía anual por hectárea utilizada en la producción del sistema milpa familiar en la comunidad de San Bernardino Tepenene.

Número de ítem	Ítem	Unidad	Cantidad			Línea base 12.00E+24 seJ año <sup>-1</sup> UEV <sup>1</sup> (sej Unidad <sup>-1</sup> )	Referencia para UEV	Emergía solar (sej ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )				Emergía total	Emergía (%)
			Maíz	Calabaza	Frijol			Maíz	Calabaza	Frijol			
<b>Recursos renovables locales (R)</b>													
1	Luz solar	J	3.38E+13	1.16E+11	9.15E+10	1.00E+00	[1]	3.38E+13	1.16E+11	9.15E+10	3.40E+13	0.18%	
2	Energía cinética del viento <sup>2</sup>	J	3.31E+10	1.13E+08	8.97E+07	1.24E+03	[2]	4.11E+13	1.41E+11	1.11E+11	4.13E+13	0.23%	
3	Energía potencial química de la lluvia	J	2.20E+10	7.52E+07	5.95E+07	2.25E+04	[3]	4.94E+14	1.69E+12	1.34E+12	4.97E+14	2.70%	
4	Energía de evapotranspiración <sup>2</sup>	J	1.42E+10	4.83E+07	3.83E+07	2.27E+04	[3]	3.23E+14	1.10E+12	8.68E+11	3.25E+14	1.77%	
Retroalimentaciones de refuerzo:													
5	Residuos de planta de calabaza	J	0.00E+00	3.25E+09	0.00E+00	2.15E+05	Ee	0.00E+00	6.98E+14	0.00E+00	6.98E+14	3.80%	
6	Forraje de maíz para fuerza animal	J	2.29E+07	0.00E+00	0.00E+00	2.21E+05	Ee	5.06E+12	0.00E+00	0.00E+00	5.06E+12	0.03%	
7	Residuos de planta de frijol	J	0.00E+00	0.00E+00	3.74E+07	3.49E+05	Ee	0.00E+00	0.00E+00	1.30E+13	1.30E+13	0.07%	
8	Semilla de maíz	J	9.04E+07	0.00E+00	0.00E+00	3.56E+05	Ee	3.22E+13	0.00E+00	0.00E+00	3.22E+13	0.18%	
9	Semilla de frijol	J	0.00E+00	0.00E+00	2.79E+06	8.12E+05	Ee	0.00E+00	0.00E+00	2.26E+12	2.26E+12	0.01%	
10	Semilla de calabaza	J	0.00E+00	3.62E+06	0.00E+00	6.69E+06	Ee	0.00E+00	2.42E+13	0.00E+00	2.42E+13	0.13%	
11	Labor de campo renovable	J	2.69E+08	3.80E+05	3.61E+05	2.26E+07	Ee	6.06E+15	8.59E+12	8.15E+12	6.08E+15	33.07%	
12	Labor postcosecha renovable	J	2.59E+08	5.79E+05	5.79E+05	2.26E+07	Ee	5.85E+15	1.31E+13	1.31E+13	5.88E+15	31.98%	
<b>Total de R</b>								1.25E+16	7.45E+14	3.79E+13	1.33E+16	72.16%	
<b>Recursos no renovables locales (N)</b>													
13	Pérdida neta de la capa superficial del suelo	J	2.72E+09	9.30E+06	8.83E+06	9.41E+04	[1]	2.56E+14	8.75E+11	8.31E+11	2.57E+14	1.40%	
<b>Total de N</b>								2.56E+14	8.75E+11	8.31E+11	2.57E+14	1.40%	
<b>Recursos adquiridos (F)</b>													
14	Combustible líquido para motor	J	2.95E+07	7.37E+06	7.37E+06	8.39E+04	[1]	2.47E+12	6.18E+11	6.18E+11	3.71E+12	0.02%	
15	Nitrógeno (urea)	g	7.46E+04	0.00E+00	0.00E+00	4.80E+09	[4]	3.58E+14	0.00E+00	0.00E+00	3.58E+14	1.95%	
16	Fosforo (DAP)	g	9.39E+03	0.00E+00	0.00E+00	2.80E+10	[5]	2.62E+14	0.00E+00	0.00E+00	2.62E+14	1.43%	
17	Nitrógeno (DAP)	g	1.09E+04	0.00E+00	0.00E+00	3.06E+10	[5]	3.35E+14	0.00E+00	0.00E+00	3.35E+14	1.82%	
18	Labor de campo no renovable	J	7.14E+07	1.01E+05	9.61E+04	2.26E+07	Ee	1.61E+15	2.28E+12	2.17E+12	1.62E+15	8.79%	
19	Labor postcosecha no renovable	J	6.89E+07	1.54E+05	1.54E+05	2.26E+07	Ee	1.56E+15	3.47E+12	3.47E+12	1.56E+15	8.50%	
20	Servicio de tractor	US\$	1.04E+02	0.00E+00	0.00E+00	6.94E+12	[6]	7.21E+14	0.00E+00	0.00E+00	7.21E+14	3.93%	
<b>Total de F</b>								4.85E+15	6.37E+12	6.26E+12	4.86E+15	26.44%	
<b>Emergía utilizada total (U)</b>								1.76E+16	7.53E+14	4.50E+13	1.84E+16	100.00%	

Nota: DAP: Fosfato diamónico; <sup>1</sup> Unit Emery Value es la emergía requerida por unidad de salida que se utiliza para convertir los flujos o almacenamientos de un sistema a unidades de emergía; <sup>2</sup> entradas renovables no sumadas para evitar doble conteo. Referencia: Ee: Este estudio; [1] Odum, 1996; [2] Campbell and Erban, 2017; [3] Campbell D. E. 2021, manuscrito, comunicación personal; [4] Santagata *et al.*, 2019; [5] Brandt-Williams, 1999; [6] NEAD, 2021.

### Recursos no renovables locales

La cantidad de recursos no renovables locales utilizada en el sistema milpa familiar fue baja. La cantidad de energía utilizada atribuible al recurso suelo fue  $2.57E+14$  sej  $ha^{-1}$  año $^{-1}$ , la cual corresponde a una porción de la energía total utilizada de 1.40% (Tabla 6.9). Este resultado tiene un efecto favorable en la presión ambiental causada por el proceso de producción del sistema, el cual está vinculado a una sostenibilidad alta.

### Recursos adquiridos

La cantidad de recursos adquiridos no gratuitos utilizados en el sistema milpa familiar fue bajo. La proporción de la energía total utilizada atribuible a los recursos adquiridos fue 26.44% (Tabla 6.9). Entre estos recursos, la labor de campo no renovable contabilizó la fracción mayor de la energía de los recursos adquiridos utilizados, seguida de la labor postcosecha no renovable, la cantidad total de fertilizante, servicio de tractor y el combustible. La proporción de energía total utilizada atribuible a estos recursos fue, respectivamente, 8.79%, 8.50%, 5.20% (1.95% de urea, 1.82% de nitrógeno-DAP y 1.43% de fosforo-DAP), 3.93% y 0.02% (Tabla 6.9). La cantidad baja de recursos adquiridos no gratuitos permite que el sistema milpa familiar sea rentable.

### Eficiencia de la producción

La Tabla 6.10 muestra el valor de la producción agrícola en unidades de energía (J) y la transformidad calculada para siete coproductos producidos en el sistema milpa familiar (a-g), de los cuales cuatro se dividieron (split) en dos ramas (b1, b2; d1, d2; e1, e2; f1, f2). El residuo de planta de calabaza fue el coproducto de la producción que tuvo la eficiencia más alta, puesto que tuvo la transformidad más baja, seguido del forraje de maíz y el residuo de planta de frijol. Estos residuos que son coproductos de la producción de calabaza, maíz y frijol tuvieron transformidades de  $2.15E+05$ ,  $2.21E+05$  y  $3.49E+05$  sej  $J^{-1}$ , respectivamente. El grano de maíz, grano de frijol y la semilla de calabaza son los cultivos comestibles producidos en orden de sus eficiencias de producción, las cuales son  $3.56E+05$ ,  $8.12E+05$  y  $6.69E+06$

sej J<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos cultivos son seguidos de la pulpa de calabaza, la cual es un producto comestible, pero con una densidad energética más baja y una transformidad más alta, 1.76E+07 sej J<sup>-1</sup>, y por tanto no es un producto estrictamente equivalente a los granos de densidad energética más alta. Estos resultados indican que, para los productos equivalentes, entre mayor es la transformidad, mayor es la emergía utilizada para producir la misma cantidad de producto (i.e., la eficiencia es menor).

**Tabla 6.10.** Producción anual por hectárea y UEVs de los coproductos y divisiones (splits) producidos en el sistema milpa familiar de San Bernardino Tepehene.

Código de Ítem	Coproductos y divisiones	Cantidad (J ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Emergía (sej ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Transformidad (sej J <sup>-1</sup> )
a	Residuos de plantas de calabaza	3.25E+09	6.98E+14	2.15E+05
b	Forraje de maíz	2.06E+10	4.55E+15	2.21E+05
b1	Forraje de maíz para fuerza animal	2.29E+07	5.06E+12	2.21E+05
b2	Forraje de maíz (alimento animal)	2.06E+10	4.55E+15	2.21E+05
c	Residuos de planta de frijol	3.74E+07	1.30E+13	3.49E+05
d	Grano de maíz	1.84E+10	6.54E+15	3.56E+05
d1	Semilla de maíz para plantación	9.04E+07	3.22E+13	3.56E+05
d2	Grano de maíz para el consumo familiar	1.83E+10	6.51E+15	3.56E+05
e	Frijol	2.23E+07	1.81E+13	8.12E+05
e1	Semilla de frijol para plantación	2.79E+06	2.26E+12	8.12E+05
e2	Frijol para el consumo familiar	1.95E+07	1.58E+13	8.12E+05
f	Semilla de calabaza	1.05E+08	7.03E+14	6.69E+06
f1	Semilla de calabaza para plantación	3.62E+06	2.42E+13	6.69E+06
f2	Semilla de calabaza para el consumo familiar	1.01E+08	6.79E+14	6.69E+06
g	Pulpa de calabaza	3.99E+07	7.03E+14	1.76E+07

#### Índices basados en la emergía

$$ESR = \frac{(1.33E + 16) + (2.57E + 14)}{1.84E + 16} = 0.74 \quad (5)$$

El valor de ESR indica que 74% de la emergía total utilizada en el sistema milpa familiar fue local; por tanto, el 26% restante fue adquirida desde fuera del sistema en forma de bienes y servicios. Los datos muestran una autosuficiencia alta en el sistema, lograda principalmente por la suposición propuesta con respecto a las retroalimentaciones de refuerzo.

$$EYR = \frac{1.84E + 16}{4.86E + 15} = 3.78 \quad (6)$$

El valor de EYR mayor que uno (3.78) indica que el sistema milpa familiar proporcionó más emergía que la requerida en los recursos adquiridos. Este resultado indica la habilidad alta del sistema para explotar los recursos locales con la inversión de los recursos adquiridos.

$$ELR = \frac{(2.57E + 14) + (4.86E + 15)}{1.33E + 16} = 0.39 \quad (7)$$

El valor de ELR de 0.39 indica una carga en el ambiente baja ocasionada por el proceso productivo del sistema milpa familiar. El resultado favorece la sostenibilidad del sistema.

$$ESI = \frac{3.78}{0.39} = 9.80 \quad (8)$$

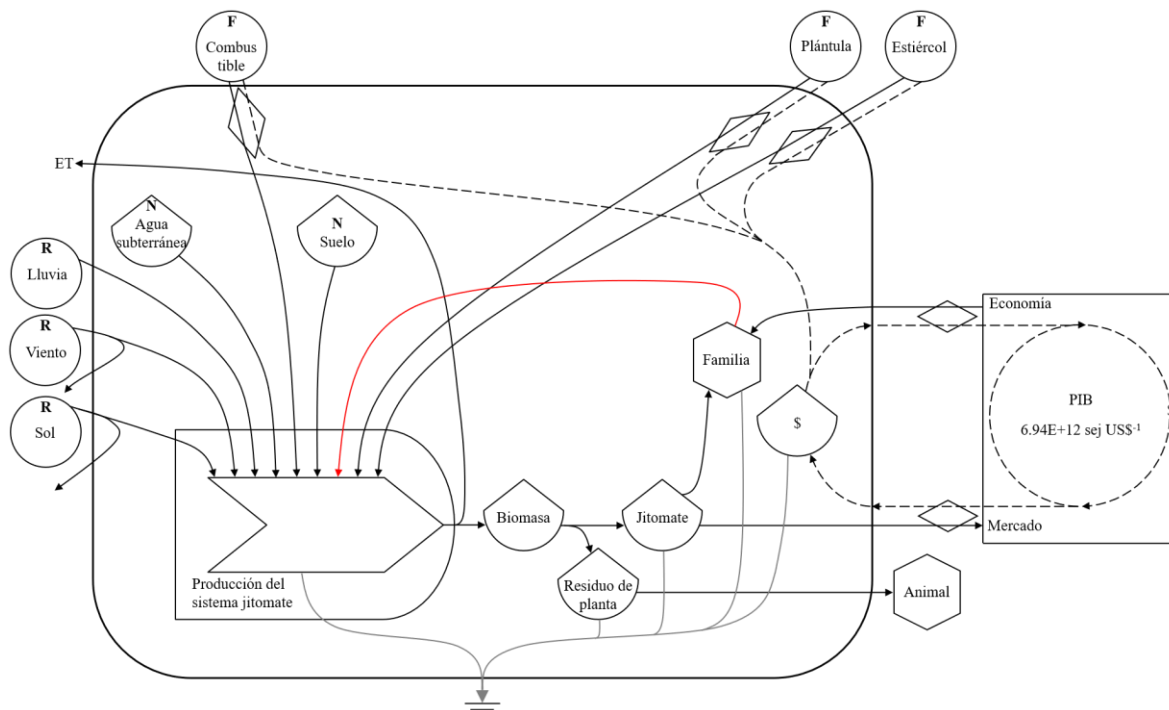
El valor de ESI de 9.80 indica una sostenibilidad relativamente alta en el proceso productivo del sistema milpa familiar y, entre más alto es este valor, mayor es la sostenibilidad del sistema.

#### 6.6.2. Evaluación del sistema jitomate familiar

##### Descripción del diagrama de emergía del sistema

La Figura 6.15 muestra los recursos utilizados y el flujo de emergía del sistema jitomate familiar. Además de los recursos renovables y no renovables naturales comunes utilizados en el sistema jitomate familiar (sol, viento, lluvia y suelo) y, a diferencia del sistema milpa, la pérdida neta de la capa superficial del suelo fue considerada nula y el agua subterránea fue otro recurso no renovable adicional utilizado. Dentro de los recursos adquiridos, el combustible se utilizó para el transporte de insumos, el estiércol de cabra es el fertilizante utilizado; por tanto, los fertilizantes químicos no se utilizaron. El aspecto más importante del sistema y que afectó su sostenibilidad es que los campesinos adquieren plántulas y no utilizan semillas para la producción. Los residuos de planta se utilizaron como alimento animal. El jitomate producido fue consumido por las familias, pero la mayor parte se

comercializó. Los ingresos obtenidos se utilizaron para adquirir los insumos utilizados y productos y servicios destinados al consumo familiar. La única retroalimentación identificada en el sistema fue la labor familiar; sin embargo, está no fue contabilizada en la evaluación de emergía, dado que la emergía de la labor proviene del mismo año evaluado y, por tanto, la regla algebraica número 4 para asignar emergía a los flujos fue aplicada.



**Figura 6.15.** Diagrama de lenguaje de sistemas de energía (Odum, 1971a, 1971b, 1994) del sistema jitomate familiar en la comunidad de San Bernardino Tepenene, el cual muestra los flujos de emergía. R: Recursos renovables locales; N: Recursos no renovables locales; F: Recursos adquiridos; ET: Evapotranspiración; PIB: Producto Interno Bruto; las líneas discontinuas son flujos de dinero, las líneas grises muestran la energía disponible utilizada y la línea roja la labor de retroalimentación.

### Recursos renovables locales

La Tabla 6.11 muestra la emergía utilizada en el sistema jitomate familiar durante el año agrícola evaluado en la comunidad de San Bernardino Tepenene. Los recursos renovables locales constituyeron la entrada menor de emergía al sistema jitomate

familiar. La emergía total utilizada en el sistema (U) fue de  $2.02E+13$  sej/m<sup>2</sup>/año, de la cual  $5.66E+10$  sej ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> fue renovable, la cual corresponde a 0.28% (0.03% de luz solar y 0.25% de lluvia). La labor renovable fue la única retroalimentación de refuerzo utilizada en el sistema jitomate familiar; sin embargo, este recurso no fue contabilizado debido a la cuarta regla algebraica para la asignación de emergía. La cantidad baja de recursos renovables locales tiene un impacto negativo en el desempeño y sostenibilidad del sistema jitomate familiar.

**Tabla 6.11.** Emergía utilizada y producción anual por metro cuadrado y UEV del producto producido en el sistema jitomate familiar en la comunidad de San Bernardino Tepehene.

Número de ítem	Ítem	Unidad	Cantidad	Línea base 12.00E+24 seJ/año UEV <sup>1</sup> (sej/Unidad)	Referencia para UEV	Emergía solar (sej/m <sup>2</sup> /año)	Emergía (%)
Recursos renovables locales (R)							
1	Luz solar	J	6.20E+09	1.00E+00	(Odum, 1996)	6.20E+09	0.03%
2	Energía cinética del viento <sup>2</sup>	J	6.76E+06	1.24E+03	(Campbell and Erban, 2017)	8.39E+09	0.04%
3	Energía potencial química de la lluvia (recolección)	J	2.24E+06	2.25E+04	Campbell D E 2021, manuscrito, comunicación personal	5.04E+10	0.25%
4	Energía de evapotranspiración <sup>2</sup>	J	3.01E+06	2.27E+04	Campbell D E 2021, manuscrito, comunicación personal	6.82E+10	0.34%
Retroalimentaciones de refuerzo:							
5	Labor renovable	J	4.10E+06	2.26E+07	Este estudio	0.00E+00	0.00%
Total de R						5.66E+10	0.28%
Recursos no renovables locales (N)							
6	Pérdida neta de la capa superficial del suelo	J	0.00E+00	9.41E+04	(Odum, 1996)	0.00E+00	0.00%
7	Agua subterránea	J	1.71E+06	5.21E+04	(Odum, 1996)	8.93E+10	0.44%
Total de N						8.93E+10	0.44%
Recursos adquiridos (F)							
8	Combustible líquido para motor	J	2.14E+07	8.39E+04	(Odum, 1996)	1.79E+12	8.86%
9	Labor no renovable	J	1.09E+06	2.26E+07	Este estudio	0.00E+00	0.00%
10	Plántula	US\$	2.38E+00	6.94E+12	(NEAD, 2021)	1.65E+13	81.51%
11	Estiércol de cabra	US\$	2.60E-01	6.94E+12	(NEAD, 2021)	1.80E+12	8.91%
Total de F						2.01E+13	99.28%
Emergía utilizada total (U)						2.02E+13	100.00%
Productos							
	Jitomate	J	1.50E+07	1.35E+06	Este estudio	2.02E+13	

Nota: <sup>1</sup> Unit Energy Value es la emergía requerida por unidad de salida que se utiliza para convertir los flujos o almacenamientos de un sistema a unidades de emergía. <sup>2</sup> entradas renovables no sumadas para evitar doble conteo.

### Recursos no renovables locales

La cantidad de recursos no renovables locales utilizada en el sistema jitomate familiar fue baja, a pesar del uso de agua subterránea para el riego del cultivo, lo

cual podría ser debido a que la recolección de agua de lluvia permite utilizar una cantidad menor de agua subterránea. La cantidad de emergía utilizada atribuible al recurso suelo y al agua subterránea fue de  $0.00E+00$  y  $8.93E+10$  sej  $ha^{-1}$  año<sup>-1</sup>, respectivamente; cantidad de emergía para el agua subterránea que corresponde a una porción de la emergía total utilizada de 0.44% (Tabla 6.11). Este resultado tiene un efecto favorable en la presión ambiental causada por el proceso de producción del sistema, el cual podría estar vinculado con una sostenibilidad alta; sin embargo, la cantidad de recursos renovables y adquiridos en el sistema jitomate familiar influye también en el nivel de sostenibilidad.

### Recursos adquiridos

La cantidad de recursos adquiridos no gratuitos utilizados en el sistema jitomate familiar fue excesivamente alto. La proporción de la emergía total utilizada atribuible a los recursos adquiridos fue 99.28% (Tabla 6.11). Entre estos recursos, la plántula contabilizó la fracción mayor de la emergía de los recursos adquiridos utilizados, incluso de la emergía total; a la cual le siguió el estiércol y el combustible. La proporción de emergía total utilizada atribuible a estos recursos fue, respectivamente, 81.51%, 8.91% y 8.86% (Tabla 6.11). La cantidad excesivamente alta de recursos adquiridos no gratuitos impide que el sistema jitomate familiar sea rentable y sostenible.

### Eficiencia de la producción

El fruto de jitomate tuvo una eficiencia menor que la mayoría de los coproductos del sistema milpa, dada su mayor transformidad. El valor de la transformidad del fruto de jitomate de  $1.35E+06$  sej/J (Tabla 6.11) fue mayor que la de los residuos de planta de calabaza, maíz y frijol, así como los granos de maíz y frijol, los cuales registraron valores de  $2.15E+05$  a  $8.12E+05$  (Tabla 6.10). Los resultados indican que 1 joule de jitomate requiere más emergía para producirlo que 1 joule de residuos de planta de calabaza, maíz o frijol, o de grano de maíz o frijol.

### Índices basados en la emergía

$$ESR = \frac{(5.66E + 10) + (8.93E + 10)}{2.02E + 13} = 0.01 \quad (9)$$

El valor de ESR indica que 1% de la emergencia total utilizada en el sistema jitomate familiar fue local; por tanto, el 99% restante fue adquirida desde fuera del sistema en forma de bienes y servicios. Los datos muestran una autosuficiencia excesivamente baja en el sistema, incluso casi nula, debido principalmente a la adquisición de la plántula utilizada en la producción.

$$EYR = \frac{2.02E + 13}{2.01E + 13} = 1.01 \quad (10)$$

El valor de EYR igual a 1 es el valor más bajo posible e indica que el sistema jitomate familiar proporcionó una emergencia igual que la requerida en los recursos adquiridos. Este resultado indica que el sistema jitomate es incapaz de explotar los recursos locales con la inversión de los recursos adquiridos e impulsar el sistema.

$$ELR = \frac{(8.93E + 10) + (2.01E + 13)}{5.66E + 10} = 356.77 \quad (11)$$

El valor de ELR de 356.77 indica una carga en el ambiente alta ocasionada por el proceso productivo del sistema jitomate familiar. El resultado desfavorece la sostenibilidad del sistema drásticamente.

$$ESI = \frac{1.01}{356.77} = 0.0028 \quad (12)$$

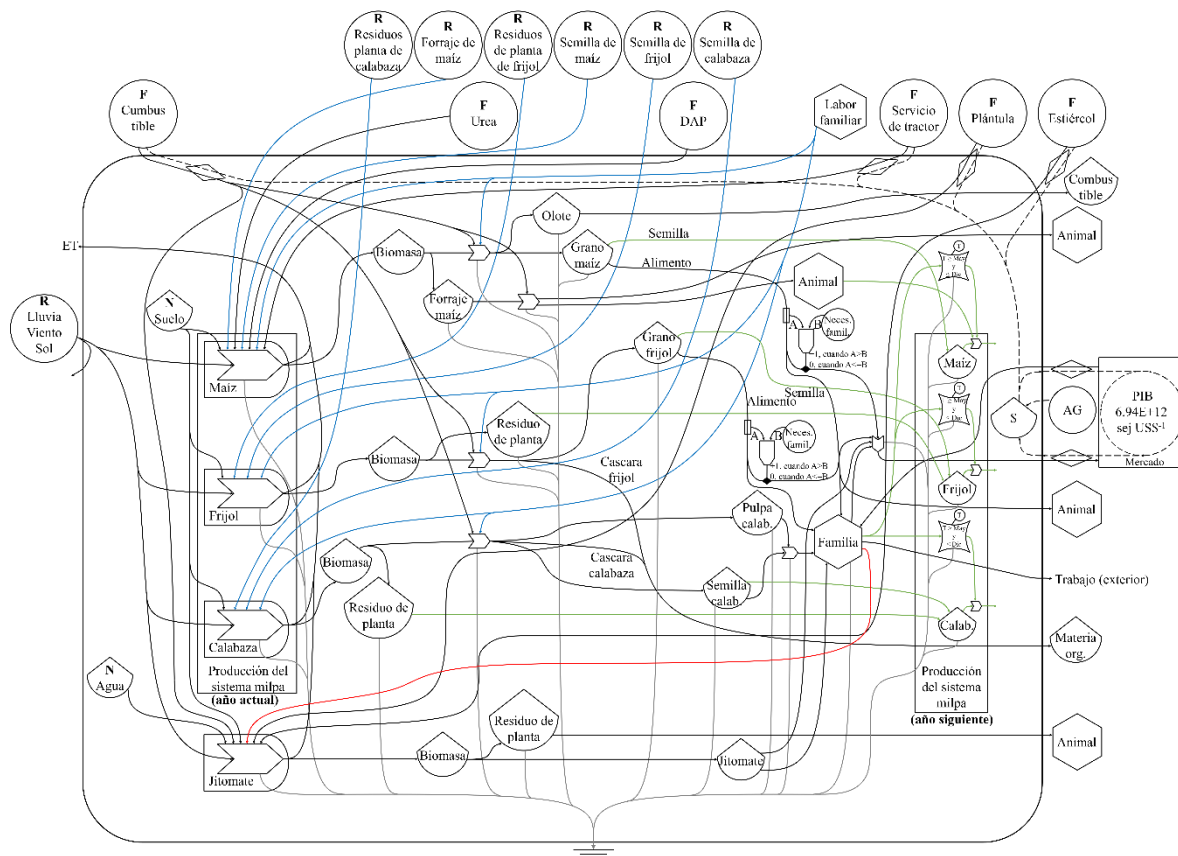
El valor de ESI de 0.0028 indica una sostenibilidad muy baja en el proceso productivo del sistema jitomate familiar, dado que el valor de ESI es directamente proporcional a la sostenibilidad del sistema.

### 6.6.3. Evaluación del sistema milpa-jitomate

#### Descripción del diagrama de emergencia del sistema

La Figura 6.16 muestra los recursos utilizados en la producción de cultivos en paralelo de los sistemas familiares milpa-jitomate, así como el flujo de emergencia que soporta los productos producidos y sus divisiones (splits) respectivas. Las

características de la producción global de cultivos del sistema milpa-jitomate fue idéntica a la producción individual mostrada anteriormente para los sistemas milpa y jitomate; sin embargo, este sistema permite satisfacer de una manera más exitosa las necesidades nutricionales de las familias, puesto que mientras los cultivos de la milpa proporcionan un aporte importante de nutrientes, el ingreso obtenido de la venta de jitomate, junto con el sueldo, permite tener una capacidad económica mayor para adquirir alimentos (acceso). Además, la acumulación mayor del flujo de entrada de dinero permite un flujo de dinero mayor hacia los recursos adquiridos para, junto con un mayor uso de recursos locales, impulsar el sistema de una manera relativamente más autosuficiente.



**Figura 6.16.** Diagrama de lenguaje de sistemas de energía (Odum, 1971a, 1971b, 1994) del sistema milpa-jitomate familiar en la comunidad de San Bernardino Tepenene, el cual muestra los flujos de emergía. R: Recursos renovables locales; N: Recursos no renovables locales; F: Recursos adquiridos; ET: Evapotranspiración; DAP: Fosfato diamónico; AG: Asistencia de gobierno; PIB: Producto Interno Bruto; las líneas discontinuas son flujos de dinero, las líneas grises muestran la emergía disponible utilizada, las líneas azules muestran las entradas de emergía del año anterior, las líneas verdes indican los productos que se utilizaran en la producción del año siguiente y la línea roja la labor de retroalimentación.

### Recursos renovables locales

La Tabla 6.12 muestra la emergía utilizada en el sistema milpa-jitomate familiar durante el año agrícola evaluado en la comunidad de San Bernardino Tepenene. Los recursos renovables locales constituyeron la segunda mayor entrada de emergía al sistema milpa-jitomate familiar. La emergía total utilizada en el sistema

(U) fue  $2.74E+13$  sej/m<sup>2</sup>/año, de la cual  $8.80E+12$  sej/m<sup>2</sup>/año fue renovable, la cual corresponde a 32.12% (0.04% de luz solar, 0.33% de lluvia y el restante 31.75% de la emergía total utilizada de las retroalimentaciones de refuerzo). Entre las retroalimentaciones de refuerzo, la labor de campo renovable contabilizó la segunda más alta proporción de la emergía utilizada en el sistema milpa-jitomate familiar; la proporción del uso de emergía total atribuible a este recurso fue 29.75%. La cantidad intermedia-baja de recursos renovables locales podría tener un impacto positivo en el desempeño y sostenibilidad del sistema milpa-jitomate familiar; sin embargo, dado que la cantidad de recursos renovables locales utilizados está vinculada con la sostenibilidad del sistema, la cantidad de tales recursos debe ser incrementada.

**Tabla 6.12.** Emergía anual por metro cuadrado utilizada en la producción del sistema milpa-jitomate familiar en la comunidad de San Bernardino Tepehene.

Número de ítem	Ítem	Unidad	Cantidad				Línea base 12.00E+24 sej/año UEV <sup>1</sup> (sej/Unidad)	Referencia para UEV	Emergía solar (sej/m <sup>2</sup> /año)				Emergía total	Emergía (%)
			Maíz	Calabaza	Frijol	Jitomate			Maíz	Calabaza	Frijol	Jitomate		
<b>Recursos renovables locales (R)</b>														
1	Luz solar	J	3.38E+09	1.16E+07	9.15E+06	6.20E+09	1.00E+00	[1]	3.38E+09	1.16E+07	9.15E+06	6.20E+09	9.60E+09	0.04%
2	Energía cinética del viento <sup>2</sup>	J	3.31E+06	1.13E+04	8.97E+03	6.76E+06	1.24E+03	[2]	4.11E+09	1.41E+07	1.11E+07	8.39E+09	1.25E+10	0.05%
3	Energía potencial química de la lluvia	J	2.20E+06	7.52E+03	5.95E+03	1.87E+06	2.25E+04	[3]	4.94E+10	1.69E+08	1.34E+08	4.21E+10	9.18E+10	0.33%
4	Energía de evaporotranspiración <sup>2</sup>	J	1.42E+06	4.83E+03	3.83E+03	3.01E+06	2.27E+04	[3]	3.23E+10	1.10E+08	8.68E+07	6.82E+10	1.01E+11	0.37%
Retroalimentaciones de refuerzo:														
5	Residuos de planta de calabaza	J	0.00E+00	3.25E+05	0.00E+00	0.00E+00	2.15E+05	Ee	0.00E+00	6.99E+10	0.00E+00	0.00E+00	6.99E+10	0.26%
6	Forraje de maíz para fuerza animal	J	2.29E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.21E+05	Ee	5.07E+08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.07E+08	0.00%
7	Residuos de planta de frijol	J	0.00E+00	0.00E+00	3.74E+03	0.00E+00	3.49E+05	Ee	0.00E+00	0.00E+00	1.30E+09	0.00E+00	1.30E+09	0.00%
8	Semilla de maíz	J	1.51E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.56E+05	Ee	5.36E+09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.36E+09	0.02%
9	Semilla de frijol	J	0.00E+00	0.00E+00	1.04E+04	0.00E+00	8.12E+05	Ee	0.00E+00	0.00E+00	8.49E+09	0.00E+00	8.49E+09	0.03%
10	Semilla de calabaza	J	0.00E+00	3.40E+03	0.00E+00	0.00E+00	6.69E+06	Ee	0.00E+00	2.27E+10	0.00E+00	0.00E+00	2.27E+10	0.08%
11	Labor renovable	J	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.90E+06	2.26E+07	Ee	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00%
12	Labor de campo renovable	J	3.60E+05	2.95E+02	2.80E+02	0.00E+00	2.26E+07	Ee	8.14E+12	6.66E+09	6.33E+09	0.00E+00	8.15E+12	29.75%
13	Labor postcosecha renovable	J	1.94E+04	5.79E+01	5.79E+01	0.00E+00	2.26E+07	Ee	4.39E+11	1.31E+09	1.31E+09	0.00E+00	4.42E+11	1.61%
<b>Total de R</b>									8.64E+12	1.01E+11	1.76E+10	4.83E+10	8.80E+12	32.12%
<b>Recursos no renovables locales (N)</b>														
14	Pérdida neta de la capa superficial del suelo	J	2.11E+05	7.23E+02	6.86E+02	0.00E+00	9.41E+04	[1]	1.99E+10	6.80E+07	6.46E+07	0.00E+00	2.00E+10	0.07%
15	Agua subterránea	J	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.02E+06	5.21E+04	[1]	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.62E+11	2.62E+11	0.96%
<b>Total de N</b>									1.99E+10	6.80E+07	6.46E+07	2.62E+11	2.82E+11	1.03%
<b>Recursos adquiridos (F)</b>														
16	Combustible líquido para motor	J	2.22E+03	5.54E+02	5.54E+02	8.55E+06	8.39E+04	[1]	1.86E+08	4.65E+07	4.65E+07	7.18E+11	7.18E+11	2.62%
17	Nitrógeno (urea)	g	2.33E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.80E+09	[4]	1.12E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+10	0.04%
18	Fosforo (DAP)	g	2.35E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.80E+10	[5]	6.56E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.56E+10	0.24%
19	Nitrógeno (DAP)	g	2.73E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.06E+10	[5]	8.37E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.37E+10	0.31%
20	Labor no renovable	J	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.05E+05	2.26E+07	Ee	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00%
21	Labor de campo no renovable	J	9.58E+04	7.84E+01	7.44E+01	0.00E+00	2.26E+07	Ee	2.16E+12	1.77E+09	1.68E+09	0.00E+00	2.17E+12	7.91%
22	Labor postcosecha no renovable	J	5.17E+03	1.54E+01	1.54E+01	0.00E+00	2.26E+07	Ee	1.17E+11	3.48E+08	3.48E+08	0.00E+00	1.18E+11	0.43%
23	Servicio de tractor	US\$	1.44E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.94E+12	[6]	1.00E+11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+11	0.37%
24	Plántula	US\$	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.91E+00	6.94E+12	[6]	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.33E+13	1.33E+13	48.36%
25	Estiércol de cabra	US\$	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.60E-01	6.94E+12	[6]	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.80E+12	1.80E+12	6.58%
<b>Total de F</b>									2.54E+12	2.17E+09	2.08E+09	1.58E+13	1.83E+13	66.85%
<b>Energía utilizada total (U)</b>									1.12E+13	1.03E+11	1.97E+10	1.61E+13	2.74E+13	100.00%

Nota: DAP: Fosfato diamónico; <sup>1</sup> Unit Energy Value es la emergía requerida por unidad de salida que se utiliza para convertir los flujos o almacenamientos de un

sistema a unidades de emergía; <sup>2</sup> entradas renovables no sumadas para evitar doble conteo. Referencia: Ee: Este estudio; [1] (Odum, 1996); [2] (Campbell and Erban, 2017); [3] Campbell D. E. 2021, manuscrito, comunicación personal; [4] (Santagata *et al.*, 2019); [5] (Brandt-Williams, 1999); [6] (NEAD, 2021).

### Recursos no renovables locales

La cantidad de recursos no renovables locales utilizada en el sistema milpa-jitomate familiar fue baja, incluso con la utilización de agua subterránea para el riego del cultivo de jitomate, lo cual es probablemente debido a la recolección de agua de lluvia. La cantidad de emergía utilizada atribuible al recurso suelo y al agua subterránea fue de 2.00E+10 y 2.62E+11 sej/m<sup>2</sup>/año, la cual corresponde a una porción de la emergía total utilizada de 0.07% y 0.96%, respectivamente (Tabla 6.12). Este resultado tiene un efecto favorable en la presión ambiental causada por el proceso de producción del sistema, el cual podría estar vinculado con una sostenibilidad alta; sin embargo, la cantidad de recursos adquiridos utilizados para la producción de jitomate influye de forma negativa en el nivel de sostenibilidad.

### Recursos adquiridos

La cantidad de recursos adquiridos no gratuitos utilizados en el sistema milpa-jitomate familiar fue alta. La proporción de la emergía total utilizada atribuible a los recursos adquiridos fue 66.85% (Tabla 6.12). Entre estos recursos, la plántula contabilizó la fracción mayor de la emergía de los recursos adquiridos utilizados, seguida de la labor de campo no renovable, estiércol, combustible, la cantidad total de fertilizantes, labor postcosecha no renovable y el servicio de tractor. La proporción de emergía total utilizada atribuible a estos recursos fue, respectivamente, 48.36%, 7.91%, 6.58%, 2.62%, 0.59% (0.04% de urea, 0.31% de nitrógeno-DAP y 0.24% de fósforo-DAP), 0.43% y 0.37% (Tabla 6.12). La cantidad alta de recursos adquiridos no gratuitos compromete la sostenibilidad y rentabilidad del sistema milpa-jitomate familiar.

###  ndices basados en la emergía

$$ESR = \frac{(8.80E + 12) + (2.82E + 11)}{2.74E + 13} = 0.33 \quad (13)$$

El valor de ESR indica que 33% de la emergencia total utilizada en el sistema milpa-jitomate familiar fue local; por tanto, el 67% restante fue adquirida desde fuera del sistema en forma de bienes y servicios. Los datos muestran una autosuficiencia intermedia-baja en el sistema, cuyo nivel de autosuficiencia se logró principalmente por las retroalimentaciones de refuerzo, la labor de campo renovable específicamente.

$$EYR = \frac{2.74E + 13}{1.83E + 13} = 1.50 \quad (14)$$

El valor de EYR similar a 1 indica que el sistema milpa-jitomate familiar proporcionó una cantidad de emergencia ligeramente superior a la requerida en los recursos adquiridos. Este resultado indica la habilidad baja del sistema para explotar los recursos locales con la inversión de los recursos adquiridos.

$$ELR = \frac{(2.82E + 11) + (1.83E + 13)}{8.80E + 12} = 2.11 \quad (15)$$

El valor de ELR de 2.11 indica una carga en el ambiente moderada ocasionada por el proceso productivo del sistema milpa-jitomate familiar. El resultado obtenido en el valor de ELR impide alcanzar una sostenibilidad alta en el proceso de producción del sistema.

$$ESI = \frac{1.50}{2.11} = 0.71 \quad (16)$$

El valor de ESI de 0.71 indica una sostenibilidad baja en el proceso productivo del sistema milpa-jitomate familiar. Lo cual indica la necesidad de que los valores involucrados en la renovabilidad y rendimiento aumenten, pero el de la presión ambiental se reduzca.

## **VII. Discusión**

### **7.1. Saberes**

Los saberes locales son importantes para el desarrollo de las comunidades, la sostenibilidad, autosuficiencia alimentaria y la erradicación del hambre y la pobreza (Gómez-Espinoza and Gómez–González, 2006; Pérez-Avilés *et al.*, 2015; Gartaula *et al.*, 2020). Sin embargo, los saberes se han estado perdiendo o modificando en las generaciones recientes (Pérez-Avilés *et al.*, 2015; García-Flores *et al.*, 2019). Lo cual podría estar evidenciado por el hecho de que la agricultura ha dejado de utilizar una cantidad mayor de recursos naturales gratuitos para utilizar una cantidad creciente de recursos fósiles (González-Ulibarry *et al.*, 2017), sumado a que la producción de sistemas agrícolas convencionales en México ha sido potenciada por la mecanización, la mejora de variedades y el uso de agroquímicos (Sánchez-Morales and Hernández-Ortiz, 2014; Ebel *et al.*, 2017), lo cual causa una dependencia mayor de los recursos adquiridos y un uso menor de los recursos naturales locales. Además, las dietas tradicionales de todo el mundo han sido remplazadas por alimentos con un alto contenido de grasa (OMS, 2003). De acuerdo con esto, se planteó que los saberes tradicionales relacionados con la producción, alimentación y reciclaje de las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepehene han sido modificados por el uso reducido de recursos naturales gratuitos y el remplazo de la dieta tradicional. Esta hipótesis no coincide con algunos de los hallazgos encontrados desde la parte cuantitativa, dado que una fracción alta de las familias sigue dominando la mayoría de los saberes relacionados con la producción y la alimentación, parte de los cuales han sido de importancia para la producción sostenible de alimentos y acceso a alimentos nutritivos, respectivamente; pero la hipótesis coincide con los hallazgos encontrados desde la parte cuantitativa de los saberes relacionados con el reciclaje; además, evidencia encontrada desde la parte cualitativa indicó una modificación en la percepción de los saberes relacionados con la producción, que podría repercutir en la alimentación de las familias.

Los resultados indican los saberes relacionados con la producción, alimentación y reciclaje identificados en las familias de la comunidad de San Bernardino Tepehene,

dentro de los cuales, una fracción importante aun pose saberes que contribuyen con la producción sostenible de alimentos, vinculada con la baja inversión de recursos adquiridos que representan un gasto económico para las familias de la comunidad, tales como la ventaja de los abonos orgánicos y el uso de semillas como recursos de retroalimentación al sistema. Respecto a los hallazgos desde el enfoque cualitativo, los agricultores, de acuerdo a sus observaciones, han adquirido conocimientos inadecuados sobre algunas cuestiones relacionadas con la pérdida de la capacidad productiva. Los agricultores son dependientes de los agroquímicos, incluso cuando conocen los efectos perjudiciales en el ambiente y la salud. Ellos afirman que los fertilizantes químicos son indispensables y, de acuerdo a su observación y percepción, el sistema no puede tener un desempeño adecuado sin el uso de fertilizantes químicos; incluso, prefieren no cultivar si los agroquímicos no están disponibles, dada la inviabilidad de la producción. No obstante, sistemas de producción, como el caso de los sistemas agroforestales de Chiapas (Diemont *et al.*, 2006), llevan a cabo un manejo tradicional, donde los campesinos son capaces de obtener un alto rendimiento y sostenibilidad de sus cultivos sin el uso de recursos adquiridos, tales como los fertilizantes y otros agroquímicos. Otra cuestión importante conforme a los hallazgo que provienen de la parte cualitativa de la investigación es que la modificación de los saberes relacionados con la producción podría comprometer la producción del sistema milpa, dado que los campesinos están considerando cambiar este sistema de producción por maguey, pues argumentan que la milpa no es rentable; lo que podría afectar la disponibilidad de los alimentos proporcionados por este sistema, cuyos productos son una fuente importante de energía y nutrientes. Sin embargo, ¿Cuál es el efecto en la ventana ambiental del sistema familiar?, ¿Puede mejorar la seguridad alimentaria de las familias? Por otro lado, una fracción alta de la población sabe el significado del reciclaje de nutrientes (>90%) y el beneficio ambiental y económico de su práctica (93.75% y 81.25%, respectivamente), pero una fracción reducida de las familias conoce sobre los usos comunes del reciclaje (25-50%), lo cual podría estar relacionado con que el conocimiento no está siendo transmitido adecuadamente en las últimas generaciones; hecho que coincide con algunos reportes dentro y fuera

de la comunidad estudiada. Los saberes son cada vez menos compartidos en el Altiplano Central Mexicano y cambian debido a la educación formal, otras ocupaciones, industrialización, urbanización y cambios en la tecnología (García-Flores *et al.*, 2019). Las nuevas generaciones en la comunidad de San Bernardino Tepehene no preservan los saberes debido a diferentes factores socioeconómicos (Pérez-Avilés *et al.*, 2015). Esto podría ser uno de los factores sociales involucrados en la productividad reducida a bajo costo, la dependencia de fertilizantes y la falta de reciclaje en la comunidad de San Bernardino Tepehene. Después de todo, la sostenibilidad se mejora en mayor medida con el uso de recursos renovables de retroalimentación (Odum, 1996), es decir, el reciclaje. Los hallazgos indican que las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepehene poseen saberes sobre los alimentos que tienen una fuente importante de nutrientes. Aunque no se detectó una fracción alta de familias que pudiera identificar el saber relacionado con la importancia de tener una dieta variada, los conocimientos sobre el consumo de alimentos silvestres comestibles les han permitido tener un mayor acceso a alimentos variados y nutritivos. Veintidós alimentos silvestres se identificaron en la comunidad de acuerdo a los saberes familiares, de los cuales el alache, la verdolaga, quelite, quintonil, nopal y huaje fueron las plantas silvestres mencionadas más frecuentemente. La cantidad reportada actual de plantas comestibles silvestres en México es de 244 especies (Mapes and Basurto, 2016); cuyo valor está muy por encima de las 18 plantas mencionadas en San Bernardino Tepehene, según el conocimiento revelado por las familias de la comunidad. Este dato fue similar a las 28 y 23 especies de plantas silvestres alimenticias que se identificaron en las comunidades de San Lucas Huajotitlán y Buenavista de Juárez en la Mixteca Poblana, respectivamente (Martínez-Pérez *et al.*, 2012), además de las 30 identificadas en el municipio de Ayoquezco de Aldama, Oaxaca, donde se identificaron 200 especies de plantas de las cuales 15% tiene un uso alimenticio (Arrazola-Guendulay *et al.*, 2018). No obstante, una variedad mayor de plantas silvestres comestibles (54) se reportó en una comunidad en estado de muy alta marginación en la Huasteca Potosina de San Luis Potosí (Cilia-López *et al.*, 2015).

A pesar de que el sistema milpa familiar utiliza una cantidad baja de recursos adquiridos, la autosuficiencia, rendimiento y sostenibilidad son bajos si lo comparamos con sistemas altamente dependientes de los recursos locales, como los sistemas agroforestales de Chiapas que se caracterizan por practicar ampliamente el reciclaje (Diemont *et al.*, 2006).

## **7.2. Caracterización**

La comunidad de San Bernardino Tepehene se integra principalmente por sistemas de producción a escala pequeña de autoconsumo, familias con un perfil socioeconómico bajo y sin carencia alimenticia. Esta hipótesis fue planteada puesto que cerca del 80% de las unidades agrícolas de México pertenecen a la agricultura familiar (FAO, 2014), además de los reportes existentes de la comunidad, los cuales indican que San Bernardino Tepehene se encuentra en un municipio donde la marginación y la pobreza son altas (CONAPO, 2016), pero un porcentaje muy bajo de los habitantes tiene carencia alimenticia (CONEVAL, 2017). La hipótesis fue corroborada con los hallazgos obtenidos. Sin embargo, solo 10% de las familias tienen un rango de ingreso inferior al valor anual promedio de la línea rural de pobreza por ingresos para el año del estudio y la mayoría de las familias cuentan con viviendas construidas con material de construcción como el block (80%), techo y piso de cemento (98% y 84%, respectivamente), utilizan gas para cocinar (94%) y tiene acceso a agua potable (100%); lo cual no coincide necesariamente con la hipótesis planteada, aunque es importante considerar que cerca de la mitad de las familias no supo indicar la cantidad de ingreso.

El conjunto de datos mostrados indica que las unidades productivas de la comunidad de San Bernardino Tepehene pertenecen a la agricultura familiar de subsistencia, dado que presenta las características reportadas para este tipo de agricultura. Es decir, las unidades productivas de la comunidad cuentan con una superficie de explotación similar o menor a las 4.7 hectáreas que se reportan para la agricultura familiar en México (SAGARPA and FAO, 2012; CEDRSSA, 2014), llevan a cabo la producción de temporal, tienen rendimientos bajos a pesar del uso fertilizantes y producen maíz y frijol, los cuales son algunos de los principales

productos producidos en la agricultura familiar. Además, la agricultura familiar en la comunidad es de subsistencia, puesto que las familias llevan a cabo el autoconsumo y requieren de un ingreso externo. Es importante aclarar que una fracción importante de las familias en la comunidad de San Bernardino Tepehene utiliza maquinaria y agroquímicos en las parcelas; sin embargo, el desempeño de los sistemas no resultó afectados, tal como se discute en el último apartado de esta sección.

La asociación de maíz, frijol y calabaza, que son los cultivos fundamentales del sistema milpa, es el sistema de producción que predomina en las parcelas de la comunidad de San Bernardino Tepehene, dado que 77.50% de las familias lo practican. Sin embargo, la asociación de maíz, frijol, calabaza y haba también fue identificada en una parte mínima de la comunidad (5.00%). Los mismos cuatro cultivos fueron indicados por (Pérez-Avilés *et al.*, 2015) como los principales cultivos múltiples sembrados en San Bernardino Tepehene. Sin embargo, la asociación de maíz, frijol, calabaza, haba y calabacita; incluso, asociación de maíz y frijol, o solo maíz fue también identificada en este estudio (solamente 2.5% de las familias).

La mayoría de las familias de San Bernardino Tepehene tiene acceso a tierra de cultivo propia (82%), donde la agricultura practicada en la parcela es de temporal, dado que 97.44% de las parcelas familiares requirió del agua de lluvia para los cultivos. Estos datos son similares a los mostrados con respecto a la agricultura familiar en México, dado que 91.1% de las unidades agrícolas familiares en México tienen acceso a tierra de cultivo propia y 83.7% practican la agricultura de temporal (SAGARPA and FAO, 2012). Por otro lado, la agricultura practicada en el invernadero se lleva a cabo mediante un sistema de riego, pues 100% de los invernaderos tienen implementado el riego por goteo. Estas mismas observaciones fueron reportadas por (Pérez-Avilés *et al.*, 2015), pero de forma cualitativa. Sin embargo, también se identificaron en este estudio otras formas en las que las familias de la comunidad tienen disponible el agua utilizada para los cultivos. Entre el 5% y 13% de las familias utiliza el agua de pozo, pipa y una combinación entre la lluvia, pozo y pipa. La disponibilidad de agua mediante la compra de agua a través de la pipa podría tener un impacto negativo en el desempeño de los sistemas

productivos familiares, tal como sucede con la compra de la plántula de jitomate que se discute en el último apartado de esta sección. Es importante aclarar que el servicio de agua potable ha sido recientemente incorporado a los hogares de las familias y la compra de agua de pipa ha sido reducida.

Los animales que predominan en la comunidad de San Bernardino Tepehene son las aves de corral seguida de los equinos, pues cerca de la mitad de las familias tienen aves de corral y un tercio tiene equinos. Sin embargo, algunos estudios realizados en la mixteca indican que la producción principal es la caprina (Hernández *et al.*, 2011; Pérez-Avilés *et al.*, 2015). La presencia de bovinos, caballos, pollos, gallinas y guajolotes se reportó anteriormente en San Bernardino Tepehene (Pérez-Avilés *et al.*, 2015). No obstante, además de estos animales, también porcinos y asnos se identificaron en el estudio presente.

La producción agrícola permite satisfacer las necesidades nutricionales de las familias cuando el clima lo permite, puesto que los productos de la milpa aportan un porcentaje importante de los nutrientes requeridos por las familias, principalmente de carbohidratos que son la principal fuente de energía. Sin embargo, de acuerdo al análisis nutricional que se discutirá más adelante, los nutrientes que no son aportados por el sistema milpa podrían ser cubiertos por toda la variedad de alimentos de autoconsumo presente en el traspatio y el medio silvestre. Esto lleva a pensar que las familias de la comunidad de San Bernardino Tepehene, o por lo menos la mayoría, tendría la capacidad de adquirir oportunidades de desarrollo, puesto que la mayoría cuentan con traspatio; lo cual permitiría atacar las desventajas sociales que impiden a la comunidad salir del estado de marginación alto en el que se encuentra (CONAPO, 2016). De por sí, los datos del CONEVAL indican que solo 7.7% de las familias tiene carencia por acceso a la alimentación (CONEVAL, 2017).

### **7.3. Aspectos climáticos**

La vulnerabilidad climática es una de las causas de la baja productividad en la agricultura familiar (SAGARPA and FAO, 2012; Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017) y en el crecimiento de la agricultura en general (CEDRSSA, 2014). Incluso, la

condición climática en la comunidad de San Bernardino Tepenene es uno de los factores involucrados en el deterioro constante de los recursos (Pérez-Avilés *et al.*, 2015). Además, el clima adverso ha estado ocasionando la afectación de un mayor porcentaje de unidades de producción agrícola familiar (SAGARPA and FAO, 2012). De acuerdo a ello, se planteó la hipótesis de que el estrés hídrico y la temperatura extrema son factores que han estado ocasionando la afectación de los cultivos en la comunidad de San Bernardino Tepenene. Esta hipótesis fue corroborada con los hallazgos cualitativos y cuantitativos relacionados con el estrés hídrico y por frío, pero no con los hallazgos cuantitativos del estrés por calor.

De acuerdo a las observaciones cualitativas, la sequía o lluvia escasa podría estar afectando los cultivos en la comunidad de San Bernardino Tepenene. Sin embargo, cuando la cantidad anual total de agua requerida en la evapotranspiración (302 mm/ciclo) de los cultivos de la milpa sin estrés hídrico del año 2018 se comparó con la cantidad de agua anual disponible durante el ciclo de cultivo 2009 del sistema milpa (mayo-noviembre/diciembre), cuyo año tuvo la precipitación más escasa (325.7 mm/ciclo), se observó que la cantidad de agua disponible en la precipitación pudo satisfacer la cantidad de agua requerida por las plantas cultivadas en la milpa. Por tanto, el agua anual disponible para los cultivos es suficiente, incluso cuando la precipitación es escasa. No obstante, según las observaciones cualitativas, las plantas sufren estrés hídrico (ver Figura 6.7). Esta observación tuvo como resultado el planteamiento de una hipótesis nueva “El estrés hídrico es ocasionado por periodos de sequía específicos”. Esta hipótesis nueva se corroboró con los hallazgos mostrados, puesto que un periodo de sequía de 58 días fue identificado antes, durante y después de la etapa de floración del cultivo de maíz (Figura 6.8). Una de las observaciones realizada durante el estudio cualitativo fue la identificación de espigas de maíz disminuidas en número de granos (Figura 6.7 inciso b). Estos efectos han sido ampliamente identificados cuando el cultivo de maíz se encuentra bajo estrés hídrico y por calor (Bolaños and Edmeades, 1990; Bänziger *et al.*, 2012; Ciampitti, 2014; Villalobos-González *et al.*, 2016; Dong *et al.*, 2021). Sin embargo, este efecto fue producido solamente por el estrés hídrico, puesto que la temperatura promedio mensual comprendida dentro del periodo 2007-2016 fue de 18°C a 28°C,

aproximadamente; cuyos valores se han mantenido por debajo del umbral máximo de temperatura (40°C) reportado por (Azcón-Bieto and Talón, 2013), sobre el cual la mayoría de las plantas son afectadas. Por tanto, la temperatura máxima no solo no ha estado afectando los cultivos en la comunidad de San Bernardino Tepenene, sino que, la temperatura máxima ha sido óptima; puesto que tal temperatura se ha mantenido por debajo de los umbrales máximos de temperatura. Incluso, la temperatura máxima en la comunidad se ha mantenido debajo los umbrales correspondientes al maíz (39.2°C) (Sánchez *et al.*, 2014) y el jitomate (30°C) (Jaramillo-Noreña *et al.*, 2006; Escalona *et al.*, 2009). Sin embargo, la temperatura mínima ha estado afectando los cultivos en la comunidad de San Bernardino tepenene, puesto que se registró una temperatura mínima promedio mensual aproximada de 3°C a 12.5°C durante el periodo comprendido del 2007 al 2016. Cuya temperatura está dentro del rango de temperatura de 0 a 15°C que ocasiona estrés por frío (Azcón-Bieto and Talón, 2013). Incluso, la observación realizada durante el estudio cualitativo permitió identificar la afectación de los cultivos de jitomate por bajas temperaturas. Esta observación fue corroborada con los hallazgos cuantitativos. Donde también se logró identificar que el efecto del frío es durante la época invernal, principalmente. La temperatura invernal alcanza valores cercanos a la congelación. Una temperatura de menos de 10°C ocasiona efectos negativos en el cultivo de jitomate (Jaramillo-Noreña *et al.*, 2006; Escalona *et al.*, 2009). Si esta temperatura mínima es considerada para evitar el estrés por frío del cultivo de jitomate, el cultivo de jitomate sin algún tipo de protección al frío solo es posible cultivarlo durante los meses comprendidos entre junio y septiembre, incluso, octubre (ver Figura 6.6 inciso b).

#### **7.4. Seguridad alimentaria y nutrición familiar**

El porcentaje de personas que tuvieron seguridad alimentaria en el municipio de Tzicatlacoyan, Puebla, según la encuesta intercensal 2015, fue de 69.20% (SEDESOL, 2016). Municipio al que pertenece la comunidad de San Bernardino Tepenene. De forma similar, el porcentaje de habitantes que presenta carencia por acceso a la alimentación en el municipio de Tzicatlacoyan, Puebla, es de 7.7%

(CONEVAL, 2017). De acuerdo a estos datos, una proporción alta de la comunidad de San Bernardino Tepehene tiene seguridad alimentaria. Sin embargo, los hallazgos indican que el estado de seguridad alimentaria está ausente en la mayoría de las familias de la comunidad de San Bernardino Tepehene. Pues, un 8% de las familias presentó seguridad alimentaria; mientras que, 62%, 14% y 16% de las familias presentó inseguridad alimentaria leve, moderada y severa, respectivamente. Por tanto, la mayor parte de la población se encuentra en estado de inseguridad alimentaria, en este caso, con un grado de severidad leve. Incluso, es importante recalcar que el número de familias con inseguridad alimentaria severa (grado de severidad mayor) es el doble que el número de familias con seguridad alimentaria. El porcentaje de familias con seguridad alimentaria en San Bernardino Tepehene está muy por debajo del porcentaje de personas con seguridad alimentaria (69.20%) que fue reportado en el informe anual 2016 sobre la situación de pobreza y rezago social del municipio de Tzicatlacoyan, Puebla (SEDESOL, 2016). De forma similar, el porcentaje de personas con un grado moderado y severo de inseguridad alimentaria en el municipio de Tzicatlacoyan (i.e., carencia por acceso a la alimentación) es de 7.70% (CONEVAL, 2017). Sin embargo, si consideramos que 14% y 16% de las familias en San Bernardino Tepehene tuvieron inseguridad alimentaria moderada y severa, respectivamente; treinta por ciento (14 moderada + 16 severa) de las familias presentan carencia por acceso a la alimentación, lo cual es casi cuatro veces mayor que lo reportado para Tzicatlacoyan por CONEVAL (2017). No obstante, esta es una comparación entre individuos y familias. Por otra parte, si realizamos una comparación entre familias rurales, una proporción alta de las familias rurales de México (78.10%) se encuentra en un estado de inseguridad alimentaria (CONEVAL, 2019a). Este valor es similar al de la comunidad rural de San Bernardino Tepehene, donde también se registró una proporción alta de familias (92%) en estado de inseguridad alimentaria. Incluso, la comparación con estudios realizados en otras comunidades en estado de marginación alta en Puebla muestra que el grado de inseguridad alimentaria es similar. Cerca del 4% de las familias en el municipio de Xochiapulco, Puebla, tuvieron seguridad alimentaria (Zárate-Guevara *et al.*, 2016). Un estudio realizado

en los municipios de San Salvador el Verde, Tlapanalá y Coatzingo comparó los niveles de seguridad alimentaria en familias que producen y no producen en el traspatio (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017); el porcentaje de familias con seguridad alimentaria (5.70%) que no produce en el traspatio fue similar al valor de San Bernardino Tepehene (8%). Por otra parte, 12.10% de las familias que producen en el traspatio tuvieron seguridad alimentaria. Si consideramos ambos resultados, el porcentaje total de hogares con seguridad alimentaria es de 17.80%. Sin embargo, este porcentaje sigue estando cercano al porcentaje de San Bernardino Tepehene y el porcentaje obtenido (21.9%) a partir de los datos de inseguridad alimentaria reportados por CONEVAL (2019a) para las familias rurales de México, pero está alejado del porcentaje (personas) reportado (69.02%) por SEDESOL (2016) con respecto al municipio de Tzicatlacoyan.

Aunque la escala ELCSA ha sido utilizada para evaluar la seguridad alimentaria de este estudio, debido a su confiabilidad y validez, los hallazgos de seguridad alimentaria obtenidos mediante la evaluación de la escala ELCSA fueron complementados con la estimación de la ingesta de nutrientes obtenidos a partir de los productos alimenticios de autoconsumo y silvestres. La razón de este complemento es que la escala ELCSA es de costo bajo y fácil de aplicar, pero se basa solo en percepciones de la cantidad de alimentos para evaluar el acceso a una alimentación sana y nutritiva (FAO, 2012); sin embargo, la salud nutricional depende del balance de macronutrientes y micronutrientes (Finn, 2014). Además, existe un antecedente directo (i.e., a través de este mismo trabajo) que indica que un número importante de alimentos de autoconsumo y silvestres son consumidos por las familias de la comunidad rural de San Bernardino Tepehene. Lo cual está respaldado por otros estudios realizados en la Mixteca Poblana y otras comunidades (Martínez-Pérez *et al.*, 2012; Cilia-López *et al.*, 2015; Pérez-Avilés *et al.*, 2015; Arrazola-Guendulay *et al.*, 2018). Por tanto, y puesto que este estudio se realizó bajo un enfoque de investigación mixto (cualitativo-cuantitativo), surgieron preguntas e hipótesis de investigación nuevas durante la investigación. En este caso la hipótesis fue que una fracción alta de la cantidad de macronutrientes y micronutrientes requeridos por las familias de la comunidad de San Bernardino

Tepenene es aportada por los productos de autoconsumo y silvestres. Esta hipótesis fue corroborada con los hallazgos obtenidos; puesto que los productos producidos en el sistema milpa (maíz, frijol y calabaza), otros productos de autoconsumo (huevo, pollo, jitomate, leche), plantas de traspatio principales (durazno, nopal, limón, aguacate) y uno de los alimentos silvestres (verdolaga) lograron proporcionar por encima o cerca del 100% de la cantidad recomendada de la mayoría de macronutrientes y micronutrientes. De acuerdo a esto, la seguridad alimentaria dependería solo de la disponibilidad de alimentos (autoconsumo) y no del acceso (ingresos). Por tanto, la disponibilidad de alimentos no cubriría completamente las necesidades nutricionales; lo cual no es severo, pero la situación está presente. Basado en ello, la seguridad alimentaria estaría ausente, pero el grado de inseguridad alimentaria sería leve, puesto que las necesidades nutricionales se cubren casi totalmente. Ello coincide con los hallazgos obtenidos con la escala ELCSA. Por otra parte, el acceso (ingreso) es considerado dentro de la escala ELCSA, cuya evaluación indica que las familias de San Bernardino Tepenene presentan inseguridad alimentaria leve; no obstante, el ingreso de las familias de la comunidad de San Bernardino Tepenene podría ser utilizado para complementar la dieta y satisfacer la cantidad mínima de los nutrientes faltantes. Incluso, es importante recordar que los resultados mostraron que las familias de San Bernardino Tepenene no tienen un ingreso alto, pero solo el 10% de las familias tiene un ingreso inferior al valor anual promedio de la línea rural de pobreza por ingresos. Lo que indica que las familias pueden adquirir los alimentos de la canasta básica para complementar su dieta y, por tanto, la seguridad alimentaria estaría presente. También es importante considerar que todavía existe una variedad amplia de alimentos silvestres y de autoconsumo provenientes del traspatio (ver Figuras 8.1, 8.2 y 8.4) que son ricos en nutrientes y que podrían beneficiar la disponibilidad de alimentos; incluso, el acceso, puesto que los ingresos para la compra de alimentos podrían aumentar con la venta de productos. Lo cual, junto con una producción sostenible de alimentos podría beneficiar todas las dimensiones de la seguridad alimentaria de las familias rurales [disponibilidad (productos de autoconsumo y silvestres), acceso (ingresos para la compra de alimentos por la

venta de productos) utilización biológica (consumo adecuado de nutrientes para evitar enfermedades que impidan en un futuro la asimilación adecuada de nutrientes)], lo cual finalmente permite también llevar una vida activa y sana necesaria para simplemente producir alimentos, pero también para trabajar y obtener ingresos que permitan reforzar el acceso a alimentos. Finn (2014) afirma que quienes están en un estado de inseguridad nutricional tienen un mayor riesgo de padecer enfermedades agudas y crónicas que afectan su productividad y el éxito en el trabajo.

Las políticas y toma de decisiones en San Bernardino Tepenenen deben ser enfocadas a la producción sostenible de estos alimentos basándose en el monitoreo constante del desempeño ambiental-económico en el sistema familiar para el uso adecuado de recursos y obtener el beneficio social, i.e., seguridad alimentaria y familias libres de pobreza; donde la evaluación basada en la emergía juega un papel importante, tal como se discutirá más adelante.

Casi uno de cada tipo de nutriente resultó deficiente en la evaluación nutricional, i.e. un nutriente de los macronutrientes, uno de los micronutrientes inorgánicos y dos de micronutrientes orgánicos. De la evaluación de macronutrientes, la proteína fue el único nutriente de este tipo que resultó deficiente; sin embargo, la deficiencia solo fue del 14%. Esta carencia leve de proteína podría causar fuerza muscular disminuida, pérdida de peso, agotamiento, retardo del crecimiento, déficit en el desarrollo psicológico o alteración en la reparación del organismo (Latham, 2002; Lutz *et al.*, 2015). Respecto a los micronutrientes inorgánicos, el calcio fue el único que estuvo deficiente; no obstante, la mitad (49%) de la cantidad recomendada fue cubierta con los alimentos de autoconsumo y silvestres considerados en el estudio. La deficiencia de calcio está asociada con osteoporosis, temblores musculares y raquitismo (Lutz *et al.*, 2015). Finalmente, de los micronutrientes orgánicos, las vitaminas B12 y A resultaron deficientes, pero una alta proporción de la cantidad recomendada de vitamina B12 (85%) y la mitad de vitamina A (48%) fue cubierta con los alimentos considerados en el estudio. La deficiencia de vitamina B12 puede ocasionar anemia megaloblástica, fatiga, palidez, dificultad para respirar, entumecimiento y hormigueo de extremidades, trastornos en la forma de caminar y

trastornos neurológicos (Lutz *et al.*, 2015; Marcel, 2018). En cuanto a de vitamina A, su deficiencia puede ocasionar engrosamiento anormal y sequedad de la conjuntiva, ceguera temprana, ceguera nocturna, susceptibilidad a infecciones, retardo del crecimiento, infertilidad, incremento de la presión intracraneal, afectación de piel, cabello y uñas (Lutz *et al.*, 2015; Cabrera, 2019). Es claro que los hallazgos indican una falta de consumo de alimentos de origen animal, dado que los alimentos de origen animal son ricos en proteína, grasa, vitamina B12 y calcio. Por otra parte, es importante considerar también los alimentos que podrían causar problemas de exceso de nutrientes. La deficiencia de sodio solo fue del 1%, pero la sal añadida no fue cuantificada, lo cual significa que muy probablemente existe un consumo de sal en exceso. Los carbohidratos se registraron en exceso también, lo cual no es problema; puesto que el excedente de alimentos podría comercializarse y el ingreso utilizarse para comprar alimentos de origen animal ricos en los nutrientes que resultaron deficientes (proteína, calcio y vitamina B12). La deficiencia de vitamina A puede ser compensada con vegetales silvestres y la siembra de espinacas, zanahoria y col en el traspatio y/o en forma de policultivos en el invernadero (ver Tabla 3.1); incluso, una mayor producción de calabaza en la milpa.

### **7.5. Autosuficiencia y sostenibilidad basada en la emergía**

Un sistema maximiza su desempeño y es sostenible (i.e., prevalece en competencia) cuando la retroalimentación lo refuerza (Odum, 1996). La retroalimentación de refuerzo alta del sistema milpa familiar permite que más energía útil sea procesada y el sistema maximice su potencia de emergía (empotencia), es decir, un flujo mayor de emergía por unidad de tiempo. Sin embargo, el sistema milpa familiar debe y puede continuar optimizando el uso de recursos a través de las retroalimentaciones de refuerzo que maximicen el flujo de emergía (empotencia) y alcanzar una sostenibilidad mayor. No obstante, es claro que una sostenibilidad mayor no está necesariamente asegurada mientras el flujo de emergía (empotencia) a través del sistema sea mayor (ver Tabla 7.1), puesto que un sistema sostenible se caracteriza por maximizar el flujo de emergía, pero a través de las vías de refuerzo (Odum, 1996).

**Tabla 7.1.** Comparación entre el valor de los índices de desempeño correspondientes al sistema milpa familiar (SMF) y otros sistemas de producción de granos, leguminosas y cucurbitácea.

Índices	SMF																			
	Sistemas de producción de grano, leguminosas y cucurbitácea																			
	Agroforestería		Frijol			Maíz			Maíz-Trigo			Trigo			Pepino	Tag.	Lupin/Trigo		AO	
	Af	Af-M	F	FE	F-M/A	M1	M2	MF	M-T1	M-T2	M/T	T1	T2	T3	PP		L/T	L/T-Tag.		
%Ren	72.2	72-97	72, 74	3.4-53.7	53.7	3.4, 4.8	0.2	N/D	16	N/D	13	22.4-64.5	0.9	12-17	N/D	30	60	20	30	35.2
ESR	0.7	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0.1-0.2	N/D	0.1	N/D	N/D	N/D	N/D	0.5
EYR	3.8	4.5-50.7	4.5, 4.6	1.2-1.3	1.3	1.2, 1.2	N/D	2.4	1.2	1-1.9	1.2	1.5-5.7	N/D	N/D	1.2	1.1	N/D	N/D	N/D	3.3
ELR	0.4	0.0-0.4	0.4, 0.4	16.8-39.7	16.8	39.7, 28.4	374-570	0.5	5.2	1.3-1.9	6.7	3.7-10	78-115.2	10.7-68.6	10.6	18.4	0.7	5.5	2.3	1.8
ESI	9.8	11.9-1740	11.9, 12.6	0.0-0.1	0.1	0.0, 0.0	N/D	5	0.2	0.6-1.4	0.2	0.2-1.2	N/D	0.0-0.1	0.1	0.1	N/D	N/D	N/D	1.8
D-EP	18.4	2.3-6.3	3.7, 6.3	6.5-15.4	6.5	15.4, 11	42.3	1.6	0.0	35.5-62.7	21.5	9.4-22.3	34.6	3.1-6.8	20	9.3-15.1	1.2	1.9	1.3	N/D
Referencia	[1]	[2]	[2]	[3]	[3]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[5]	[8]	[4]	[9]	[5]	[10]	[11]	[11]	[11]	[12]

Nota: todos los valores se redondearon a un solo decimal. D-EP: Densidad de la Emptencia ( $X E+15 \text{ sej ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ); SMF: sistema milpa familiar; Af: sistemas agroforestales en Chiapas; Af-M: sistemas agroforestales en Chiapas que tuvieron la mayoría de la tierra dedicada a la milpa; F: sistemas de producción de frijol en Markazi, Irán; FE: sistema de producción de frijol ecológico en Markazi, Irán; F-M/A: sistemas de producción de frijol de insumo medio y bajo en Markazi, Irán; M1: sistemas de producción de maíz en el suroeste de Irán; M2: sistema de producción de maíz en Hebei, China; MF: sistema de maíz forrajero en Dinamarca; M-T1: sistema de doble cultivo maíz-trigo en China del norte fertilizado con fertilizantes químicos, fertilizantes químicos-residuos de cultivo, fertilizantes químicos-residuos de biogas, fertilizantes químicos y fertilizantes químicos-residuos de champiñón, considerando la pérdida de emergía de los recursos reciclados; M-T2: sistema de doble cultivo maíz-trigo en Hebei, China; M/T: sistema de rotación de maíz/trigo de secano en una granja experimental de Uttarakhand, India; T1: sistemas de producción de trigo en el suroeste de Irán; T2: sistemas de producción de trigo de varias provincias en China; T3: sistema de producción de trigo en Hebei, China; PP: sistema de producción de pepino protegido de 26 provincias Chinas; Tag: sistema tagasaste en Australia; L/T: sistema de rotación lupin/trigo; en Australia; L/T-Tag: sistema de rotación lupin/trigo crecido entre árboles de tagasaste en Australia; AO: sistema agrícola optimizado propuesto por Shandong, China; N/D: sin dato. [1] Este estudio; [2] (Diemont *et al.*, 2006); [3] (Asgharipour *et al.*, 2019); [4] (Houshyar *et al.*, 2018); [5] (Wang *et al.*, 2014); [6] (Ghaley *et al.*, 2018); [7] (Wang *et al.*, 2017); [8] (Singh *et al.*, 2016); [9] (Zhao *et al.*, 2019a); [10] (Zhao *et al.*, 2019b); [11] (Lefroy and Rydberg, 2003); [12] (Wang *et al.*, 2019).

La producción de sistemas agrícolas convencionales en México ha sido potenciada por la mecanización, la mejora de variedades y el uso de agroquímicos (Sánchez-Morales and Hernández-Ortiz, 2014; Ebel *et al.*, 2017), lo cual causa una dependencia mayor de los recursos adquiridos y un uso menor de los recursos naturales locales. Por lo que se infirió que los sistemas estudiados (milpa, jitomate y milpa-jitomate) podría tener índices de desempeño pobres. Por tanto, la autosuficiencia del sistema sería baja, el proceso de producción causaría un impacto ambiental moderado o alto, el uso de la emergía no sería eficiente y la sostenibilidad del sistema sería baja. Sin embargo, están asunciones no coincidieron con los hallazgos mostrados en el caso del sistema milpa, pero si del sistema jitomate y el sistema milpa-jitomate, que a pesar de que los cultivos de la milpa tienen un buen

desempeño, el cultivo de jitomate afectó el desempeño del sistema milpa-jitomate global.

San Bernardino Tepehene pertenece a un municipio donde 83.20% de la población tiene un ingreso debajo de la línea de bienestar (CONEVAL, 2017). El ingreso bajo de la población impide que inviertan en productos y servicios para soportar la producción agrícola; no obstante, algunos agricultores reciben insumos agrícolas y soporte financiero por parte del gobierno. Sin embargo, los sistemas agrícolas que dependen de insumos externos han requerido un uso incrementado de estos recursos, lo que resulta en sistemas ineficientes que dañan el ambiente y dificultan la producción de alimentos (Funes-Monzote, 2009a); por tanto, los sistemas de producción de alimentos deben ser más autosuficientes. Esto se logra cuando los sistemas incrementan su eficiencia mediante el uso de más recursos locales y menos recursos externos. ESR es la ratio utilizada para para medir la proporción de emergía en los recursos locales utilizados en el sistema (Lei *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2016). El valor de ESR de 0.74 para el sistema milpa familiar en San Bernardino Tepehene indicó que el uso de recursos locales (74%) es 2.8 veces mayor que el uso de recursos adquiridos (26%). En el caso de los sistemas familiares jitomate y milpa-jitomate, el valor de ESR fue de 0.01 y 0.33, respectivamente; lo cual evidentemente es un valor muy bajo para ambos sistemas, pero es crítico en el sistema jitomate familiar. El sistema jitomate familiar tiene una autosuficiencia del 1% y el sistema milpa-jitomate familiar de 33%, lo que indica un uso de recursos locales casi nulo y un uso de recursos adquiridos de casi el doble con respecto a los recursos locales, respectivamente. La autosuficiencia del sistema jitomate familiar es muy baja, pero si el valor de ESR de este sistema se compara con otros sistemas de producción protegidos, como el de pepino de 26 provincias Chinas, vegetales en una granja ecológica del distrito de Chencang, China y uva en China (Zhao *et al.*, 2019b), los valores de ESR son similares (0.03, 0.01 y 0.02, respectivamente). No obstante, los sistemas familiares milpa y milpa-jitomate utilizaron una cantidad alta de recursos locales comparado con otros sistemas agrícolas. Tal como los sistemas de producción de trigo (*Triticum aestivum*) de varias provincias de China, los cuales tuvieron valores de ESR de 0.13-0.20,

dependiendo de la zona climática (Zhao *et al.*, 2019a) y el sistema de producción de pepino de 26 provincias Chinas (0.11) (Zhao *et al.*, 2019b). Es importante recalcar que el valor de ESR del sistema milpa familiar fue más alto que aquel del sistema agrícola optimizado propuesto por Wang *et al.* (2019) en Shandong, China, cuyo valor fue de 0.50.

El rendimiento alto de los cultivos puede contribuir con la seguridad alimentaria en las comunidades rurales altamente marginadas. Un estudio llevado a cabo en áreas rurales de Yucatán reportó que el sistema milpa y el traspatio familiar proporcionan un promedio de 63.70% de las necesidades alimenticias o, incluso, hasta 119.1% (Salazar-Barrientos and Magaña-Magaña, 2016). El sistema milpa familiar de la comunidad de San Bernardino Tepehene sobrepasa la cantidad de energía requerida para una familia promedio, incluso los productos del sistema cubrieron un porcentaje alto de los macronutrientes y la mayoría de los micronutrientes requeridos por las familias rurales. Además, varios de los productos producidos en el traspatio familiar de la comunidad de San Bernardino Tepehene, tales como el huevo, pollo, leche, durazno, nopal, limón, aguacate y la guayaba; permitieron proporcionar una fracción importante de los nutrientes que el sistema milpa familiar no proporcionó. El aporte de nutrientes a partir del sistema milpa familiar y el traspatio cubrió una parte importante de los nutrientes requeridos por las familias; no obstante, es requerido complementar la dieta de autoconsumo, ya que esta dieta no cubre actualmente 14, 51, 15 y 52%, respectivamente, de la cantidad recomendada de proteína, calcio, vitamina B12 y vitamina A. Tales datos nutricionales evidencian los nutrientes que el sistema de autoconsumo de la comunidad no aporta. Por tanto, es importante generar diseños de producción que logren satisfacer los requerimientos nutricionales totales con el fin de que las familias rurales de la comunidad de San Bernardino Tepehene tengan una dieta adecuada y logren la seguridad alimentaria.

Cuando el rendimiento incrementa, la contribución de alimentos para la familia también incrementa; si incluso, una parte de la producción puede venderse para obtener un ingreso, las familias están mucho mejor. Con esto, la familia puede comprar alimento y complementar su dieta (acceso). EYR muestra la capacidad del

sistema para explotar los recursos locales mediante la inversión de recursos externos a partir de la economía (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a). Los sistemas familiares de milpa, jitomate y milpa-jitomate de San Bernardino Tepehene registraron un valor de EYR de 3.78, 1.01 y 1.50, respectivamente, los cuales indicaron la capacidad del sistema para explotar los recursos locales y, en el caso del sistema milpa familiar, proporcionar una emergencia de alrededor de 3.7 veces mayor que la emergencia invertida proveniente de los recursos adquiridos. Cuando EYR es igual a uno, los recursos locales no se están explotando efectivamente y el sistema proporciona la misma cantidad de emergencia que la que se invirtió en los recursos adquiridos (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a). Tal caso fue observado en los sistemas jitomate y milpa-jitomate y, contrario al sistema milpa familiar, aportaron una cantidad de emergencia similar que la invertida en los recursos adquiridos. El valor de EYR del sistema milpa familiar fue mayor que el del sistema de producción de maíz en Hebei, China (2.35) (Wang *et al.*, 2014). El valor de EYR de los sistemas familiares milpa y milpa-jitomate fue mayor que el de los sistemas de producción de trigo y maíz-trigo en Hebei, China, los cuales fueron 1.19 y 1.23, respectivamente (Wang *et al.*, 2014); el sistema de maíz forrajero en Dinamarca, el cual tuvo un valor de 1.24 (Ghaley *et al.*, 2018); los sistemas de producción de frijol en Markazi, Iran (1.17-1.28) (Asgharipour *et al.*, 2019); y el sistema de producción de pepino en campo de 26 provincias Chinas (1.13) (Zhao *et al.*, 2019b). El valor de EYR de los sistemas familiares milpa, jitomate y milpa-jitomate fue mucho más bajo que el de algunos de los sistemas agroforestales de Chiapas (Diemont *et al.*, 2006), los cuales tuvieron EYRs de hasta 50.72, pero el sistema milpa familiar solamente fue ligeramente más bajo que los sistemas agroforestales con la mayoría de la tierra dedicada a la milpa (4.53 y 4.58), sin embargo, estos sistemas agroforestales mimetizan los ecosistemas naturales y su manejo exitoso requiere reciclar en vez de utilizar más recursos adquiridos. Este sistema de manejo tradicional permite un desempeño alto a través del uso eficiente de emergencia que se logra por utilizar más recursos locales y menos recursos adquiridos para soportar la producción. Por tanto, el conocimiento tradicional juega un papel significativo en el manejo adecuado de los sistemas de producción.

Incluso, tal conocimiento ha sido reconocido por contribuir al desarrollo sostenible y podría beneficiar los procesos de toma de decisión (IPCC, 2014; El Chami *et al.*, 2020). El valor de EYR del sistema jitomate familiar fue menor que cualquiera de los sistemas mencionados, pero fue similar al del sistema trigo-maíz de China del norte fertilizado con fertilizantes químicos-residuo de hongos, fertilizantes químicos-estiércol de cerdo, fertilizantes químicos-residuo de biogás y fertilizantes químicos-residuos de vino, sin considerar la pérdida de emergía de los recursos reciclados (Wang *et al.*, 2017), cuyos valores fueron de 1.00 a 1.05. Es importante subrayar que el valor de EYR del sistema jitomate familiar es similar o igual a valores de EYR registrados en varios sistemas agrícolas protegidos, tales como el sistema de producción de pepino de 26 provincias chinas (Zhao *et al.*, 2019b), de uva en China (Feng *et al.*, 2015) y de vegetales en una granja ecológica del distrito de Chencang, China (Wu *et al.*, 2013), que tuvieron valores de 1.03, 1.02 y 1.01, respectivamente; así como de pepino, jitomate, pimiento morrón y berenjena (1.011 a 1.025) en la provincia de Kerman, Iran (Asgharipour *et al.*, 2020). Estos datos podrían justificar el valor bajo de EYR en el sistema jitomate familiar que también es un sistema protegido; no obstante, este valor es debido principalmente a la compra de la plántula, cuyo problema podría resolverse con la incorporación de un semillero.

ELR mide la presión ambiental causada por el proceso de producción (Ulgiati and Brown, 1998; Brown and Ulgiati, 2004a). Cuanto el valor de ELR sea menor, la presión ambiental será más baja. ELR en el sistema milpa familiar de San Bernardino Tepehene, con un valor de 0.39, estuvo entre el rango bajo de los valores de ELR. Valores de ELR menores que dos han sido reportados para varios sistemas con una presión ambiental baja: el sistema trigo-maíz de China del norte fertilizado con fertilizantes químicos (1.79), fertilizantes químicos-residuos de cultivo (1.67), fertilizantes químicos-residuos de biogás (1.27) y fertilizantes químicos-residuo de champiñón (1.94), considerando la pérdida de emergía de los recursos reciclados (Wang *et al.*, 2017); el sistema tagasaste (*Chamaecytisus proliferus*) (0.70) en Australia (Lefroy and Rydberg, 2003); y el caso de los sistemas agroforestales (0.03-0.38) en Chiapas (Diemont *et al.*, 2006). Los valores de ELR más altos de entre los sistemas agroforestales de Chiapas fueron aquellos con la

mayoría de la tierra dedicada a la milpa (0.36 y 0.38), los cuales fueron muy similares al del sistema milpa familiar. El valor de ELR del sistema milpa-jitomate familiar de la comunidad de San Bernardino Tepehene fue de 2.11, lo cual lo coloca entre el rango moderado de los valores de ELR. Este rango de valor ha sido reportado en el sistema de maíz forrajero de Dinamarca (5.20) (Ghaley *et al.*, 2018), el sistema de rotación lupino/trigo (*Lupinus angustifolius/Triticum aestivum*) (5.50) y el sistema de rotación lupino/trigo crecido entre árboles de tagasaste (2.30) en Australia (Lefroy and Rydberg, 2003). Por otro lado, valores moderados de ELR han sido reportados también en los sistemas de producción protegidos de uva en China (Feng *et al.*, 2015) y vegetales en una granja ecológica del distrito de Chencang, China (Wu *et al.*, 2013), que registraron valores de ELR de 4.37 y 3.92, respectivamente. El sistema jitomate familiar de San Bernardino Tepehene tuvo un valor de ELR muy alto (356.77). Valores de ELR dentro del rango alto han sido reportados en el sistema de producción de trigo y maíz del suroeste de Irán (77.95-115.20 y 374.73-570.54, respectivamente) (Houshyar *et al.*, 2018), el sistema de producción de frijol en Markazi, Iran (16.81-39.66) (Asgharipour *et al.*, 2019), los sistemas de producción protegidos de pepino, jitomate, pimiento morrón y berenjena (62.2-87.9) en la provincia de Kerman, Iran (Asgharipour *et al.*, 2020) y en el sistema de producción de pepino en campo e invernadero de 26 provincias Chinas (Zhao *et al.*, 2019b), cuyos valores fueron 18.42 y 1319.71, respectivamente. Este último dato permite establecer que el valor de ELR del sistema de producción de pepino protegido fue el mayor registrado.

La sostenibilidad del sistema milpa familiar es alta si la comparamos con otros sistemas de producción de grano, leguminosas, cucurbitácea y protegidos, incluyendo sistemas agrícolas ecológicos, de reciclaje y optimizados, excepto los sistemas agroforestales reportados de Chiapas; sin embargo, la sostenibilidad del sistema milpa familiar es cercana a la sostenibilidad de los sistemas agroforestales con la mayoría de la tierra dedicada a la milpa (Tabla 7.1). ESI, o la ratio entre el rendimiento del proceso y el daño ambiental estimado causado, ha sido utilizado para evaluar la sostenibilidad de procesos (Brown and Ulgiati, 1997; Ulgiati and Brown, 1998). Por tanto, ESI se utilizó para evaluar la sostenibilidad de los procesos

de producción de la comunidad estudiada. El valor de ESI de los sistemas familiares milpa y milpa-jitomate de San Bernardino Tepehene fueron de 9.80 y 0.71, respectivamente; estos valores fueron mayores que el ESI del sistema de maíz forrajero de Dinamarca, el cual registró un valor de 0.24 (Ghaley *et al.*, 2018); los sistemas de producción de frijol en Markazi, Irán (0.03-0.08), donde el sistema ecológico tuvo el valor más alto de ESI (Asgharipour *et al.*, 2019); el sistema de producción de pepino en campo de 26 provincias Chinas (0.08) (Zhao *et al.*, 2019b). El sistema milpa tuvo un valor de ESI mayor y el milpa-jitomate igual o similar que el sistema de secano de rotación de maíz/trigo con sus tratamientos de fertilización (Singh *et al.*, 2016) en la granja de investigación de Uttarakhand, India (0.15-0.71) y que el sistema agrícola de reciclaje trigo-maíz (Wang *et al.*, 2017) en China del norte (0.19-1.02), sin considerar la pérdida de energía de los recursos reciclados. Sin embargo, los sistemas agroforestales en Chiapas, los cuales utilizan una gran cantidad de recursos renovables (Diemont *et al.*, 2006), tuvieron valores de ESI mucho mayores (hasta 1739.85). Este valor revela las dimensiones de las posibilidades que pueden lograrse con un sistema de manejo adecuado y la comprensión de que los sistemas de producción en San Bernardino Tepehene pueden alcanzar una sostenibilidad mayor. Sin embargo, el hecho de que el sistema milpa familiar tuviera un valor de ESI cercano al de los sistemas agroforestales en Chiapas (Diemont *et al.*, 2006) con la mayoría de la tierra dedicada a la milpa (11.93 y 12.59) indica que el grado de mejora posible podría ser limitado. Por otra parte, el sistema jitomate familiar de San Bernardino Tepehene tuvo un valor de ESI mucho menor (0.0028) que el registrado en los sistemas protegidos comparados, incluyendo los sistemas de producción protegidos de uva (0.23) en China (Feng *et al.*, 2015), de pepino, jitomate, pimiento morrón y berenjena (0.011-0.016) en la provincia de Kerman, Iran (Asgharipour *et al.*, 2020) y de vegetales en una granja ecológica del distrito de Chencang, China (Wu *et al.*, 2013), el cual tuvo un valor de ESI de 0.25; no obstante, el sistema de producción de pepino protegido de 26 provincias Chinas (Zhao *et al.*, 2019b) fue el único que registró un valor menor de ESI (0.0008) que el del sistema milpa jitomate de la comunidad de San Bernardino Tepehene. Estos datos proporcionan evidencia de la necesidad urgente de

proponer un diseño adecuado que permita mejorar el valor de ESI en el sistema familiar de producción de jitomate en la comunidad de San Bernardino Tepenene. La autosuficiencia y sostenibilidad basadas en la emergía del sistema milpa familiar fue determinada a partir de sus cultivos principales en una cultura específica y ambiente. Por tanto, más estudios son requeridos para entender el comportamiento ambiental-económico del sistema milpa con otras variedades de plantas en otros ambientes y culturas.

## **VIII. Conclusiones**

Los saberes, las características del sistema (producción, socioeconómicas y alimentación), el clima, el aporte de nutrientes a través del autoconsumo de alimentos y el uso de recursos en el sistema son los elementos que influyen en la autonomía y sostenibilidad de la seguridad alimentaria en el sistema familiar rural de la localidad de San Bernardino Tepenene.

Algunos saberes relacionados con la producción y el reciclaje de recursos han sido modificados en la comunidad, dado que los campesinos asocian la pérdida de la capacidad productiva con la falta de fertilizantes y una parte importante de la comunidad no conoce el uso común del reciclaje, lo cual impacta negativamente en el desempeño de los sistemas familiares de producción, debido a que una mayor cantidad de recursos adquiridos son utilizados y a que la retroalimentación de refuerzo que potencia el sistema se reduce por la falta de reciclaje.

El tipo de agricultura que predomina en la comunidad de San Bernardino Tepenene es de subsistencia, la cual genera productos alimenticios, que junto con los del traspatio y silvestres, tienen potencial para proporcionar alimentos destinados al autoconsumo y satisfacer las necesidades nutricionales de las familias rurales.

El estrés hídrico durante la fase de floración y el estrés temporal por frío ocasionan la afectación de los cultivos en parcela e invernadero, respectivamente; incluso, la pérdida total de la cosecha en el caso del estrés hídrico. Lo que afecta la disponibilidad de alimentos dirigida al autoconsumo, pero también el acceso, dado que una baja productividad o la pérdida total de la cosecha implica una comercialización de productos de nula a baja, trayendo como consecuencia

ingresos disminuidos o nulos para poder acceder a alimentos y complementar la dieta.

El número de personas que padecen inseguridad alimentaria en la comunidad es muy alto; sin embargo, la mayor parte de la cantidad recomendada de nutrientes podría ser consumida por las familias de la comunidad, considerando los principales productos alimenticios de autoconsumo y uno de los más comunes de los silvestres. Cuya dieta podría ser complementada al 100% con la incorporación de una cantidad mínima de alimentos de origen animal y con la siembra de espinaca, zanahoria y col en el traspatio o en forma de policultivos en el invernadero, incluso, con una mayor producción de calabaza en la milpa. Por otra parte, el ingreso promedio de la comunidad permitiría complementar la dieta, dado que este es mayor al valor anual promedio de la línea rural de pobreza por ingresos, que incluye la canasta alimentaria y no alimentaria.

La evaluación de emergía permitió tener un entendimiento holístico de la interface naturaleza-sociedad de los sistemas familiares de producción agrícola, puesto que las entradas ambientales y económicas se expresaron en una base común. Por una parte, el desempeño global del sistema milpa familiar fue sobresaliente comparado con otros sistemas de producción de grano, leguminosas y cucúrbita, incluyendo sistemas agrícolas ecológicos, de reciclaje y optimizados; dado que, el sistema tuvo una presión ambiental baja en el ambiente, además de valores altos en cuanto a la renovabilidad, autosuficiencia, rendimiento y sostenibilidad. Sin embargo, el uso de recursos en el sistema milpa familiar no es óptimo y necesita mejorar para alcanzar su desempeño máximo (potencia máxima). Por otra parte, el desempeño global del sistema familiar de producción de jitomate fue deficiente, dado que el sistema tiene una presión ambiental muy alta y valores muy bajos en cuanto a la renovabilidad, autosuficiencia, rendimiento y sostenibilidad. No obstante, otros sistemas protegidos tuvieron también un desempeño muy deficiente; lo que podrían justificar tal desempeño en el sistema jitomate familiar, pero este es debido principalmente a la compra de la plántula, cuyo problema podría resolverse con la incorporación de un semillero.

Los hallazgos obtenidos en la evaluación del desempeño global de los sistemas familiares de producción dependen de los datos disponibles en los sistemas superiores siguientes, los cuales son bastante generales y desactualizados. Por tanto, investigaciones futuras necesitan realizarse para evaluar estos sistemas. i.e., el municipio, estado y nación. Más tarde, evaluaciones experimentales y simulaciones podrán llevarse a cabo. Este trabajo será útil en los desafíos relacionados con las alternativas de desarrollo, desempeño y selección de modelos, los cuales proporcionarán herramientas cada vez más efectivas para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles y la erradicación de la inseguridad alimentaria y la pobreza en comunidades rurales.

## Apéndice

### Apéndice A. Cálculos de los flujos de emergía en el sistema milpa

**Tabla A1.** Cálculo de los flujos de entrada para el cultivo de maíz en la Tabla 6.9.

#### Recursos renovables locales (R)

##### 1 Luz solar

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Insolación promedio	2.17E+07	J/m <sup>2</sup> /día	(NASA-POWER)
Albedo	0.13		(NASA-POWER)
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993		

Luz solar = (Área terrestre) x (Insolación promedio) x (1-Albedo) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\begin{aligned} \text{Luz solar} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (2.17\text{E}+07 \text{ J/m}^2/\text{día}) \times (1-0.13) \times (180 \text{ días}) \times (0.993) \\ &= 3.38\text{E}+13 \text{ J} \end{aligned}$$

##### 2 Energía cinética del viento

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Densidad del aire	1.23	kg/m <sup>3</sup>	(Odum, 1996)
Coeficiente de arrastre terrestre	0.002		(Garratt, 1977)
Velocidad del viento promedio (10 m)	2.66	m/s	(NASA-POWER)
Ratio de velocidad del viento de superficie y la velocidad del viento geostrófico	0.6		(Reiter, 1969)

Velocidad del viento geostrófico	(2.66) / (0.6)	m/s
Duración del ciclo de cultivo	1.56E+07	s
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993	

Energía cinética del viento = (Área terrestre) x (Densidad del aire) x (Coeficiente de arrastre terrestre) x (Velocidad del viento geostrófico)<sup>3</sup> x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía cinética del viento = (10,000 m<sup>2</sup>) x (1.23 kg/m<sup>3</sup>) x (0.002) x (4.43 m/s)<sup>3</sup> x (1.56E+07 s) x (0.993)

$$= 3.31E+10 \text{ J}$$

### 3 Energía potencial química de la lluvia

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Precipitación anual promedio	2.59E-03	m/día	(NASA-POWER)
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	(Campbell, 2003)
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993		

Energía potencial química de la lluvia = (Área terrestre) x (Precipitación anual promedio) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía potencial química de la lluvia = (10,000 m<sup>2</sup>) x (2.59E-03 m/día) x (1.00E+06 g/m<sup>3</sup>) x (180 días) x (4.74 J/g) x (0.993)

$$= 2.20E+10 \text{ J}$$

### 4 Energía de evapotranspiración

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Evapotranspiración	1.68E-03	m/día	
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	(Campbell, 2003)
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993		

Energía de evapotranspiración = (Área terrestre) x (Evapotranspiración) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía de evapotranspiración = (10,000 m<sup>2</sup>) x (1.68E-03 m/día) x (1.00E+06 g/m<sup>3</sup>) x (180 días) x (4.74 J/g) x (0.993)

$$= 1.42E+10 \text{ J}$$

### Retroalimentaciones de refuerzo:

#### 6 Forraje de maíz para fuerza animal

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso seco de la planta	1.56E-01	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Energía por gramo peso seco	1.47E+04	J/g	(Ghaley, Kehli and Mentler, 2018)

Forraje de maíz para fuerza animal = (Área terrestre) x (Peso seco de la planta) x (Tiempo) x (Energía por gramo peso seco)

Forraje de maíz para fuerza animal = (10,000 m<sup>2</sup>) x (1.56E-01 g/m<sup>2</sup>/año) x (1 año) x (1.47E+04 J/g)

$$= 2.29E+07 \text{ J}$$

#### 8 Semilla de maíz

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	7.20E-01	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Fracción de humedad promedio	0.26		
Energía por gramo peso húmedo	3.65	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	1.70E+04	J/g	

Semilla de maíz = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (Tiempo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)

Semilla de maíz = (10,000 m<sup>2</sup>) x (7.20E-01 g/m<sup>2</sup>/año) x (1 año) x (1-0.26) x (1.70E+04 J/g)

$$= 9.04E+07 \text{ J}$$

#### 12 Labor de campo renovable

Plantación:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona	
No. De personas	3	personas	

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Plantación = (10,000 m<sup>2</sup>) x (1.00E-04 día/m<sup>2</sup>) x (8 h/día/persona) x (3 personas)

$$= 2.40E+01 \text{ h}$$

Fertilización:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	

Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	2	personas

Fertilización = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Fertilización} = (10,000 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (2 \text{ personas})$$

$$= 1.60\text{E+}01 \text{ h}$$

Aporque:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Aporque = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Aporque} = (10,000 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 7.20\text{E+}01 \text{ h}$$

Despunte:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	2.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Despunte = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Despunte} = (10,000 \text{ m}^2) \times (2.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 4.80\text{E+}01 \text{ h}$$

Cosecha:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (10,000 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 7.20\text{E+}01 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	(Guillen-Trujillo, 1998)
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24	
Fracción no renovable promedio	0.89	(NEAD, 2021)

Labor de campo renovable = (Plantación + Fertilización + Aporque + Despunte + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

Labor de campo renovable = (2.40E+01 h + 1.60E+01 h + 7.20E+01 h + 4.80E+01 h + 7.20E+01 h) x (1.47E+06 J/h) x {1-[(0.24) x (0.89)]}

$$= 2.69E+08 \text{ J}$$

### 13 Labor postcosecha renovable

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	8.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	7	h/día/persona	
No. De personas	4	personas	
Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	(Guillen-Trujillo, 1998)
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		(NEAD, 2021)

Labor postcosecha renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

Labor postcosecha renovable = (10,000 m<sup>2</sup>) x (8.00E-04 día/m<sup>2</sup>) x (7 h/día/persona) x (4 personas) x (1.47E+06 J/h) x {1-[(0.24) x (0.89)]}

$$= 2.59E+08 \text{ J}$$

### Recursos no renovables locales (N)

#### 14 Pérdida neta de la capa superficial del suelo

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Fracción de materia orgánica	0.024		
Erosión del suelo anual total	5.00E-01	kg/m <sup>2</sup> /año	
Energía de la materia orgánica	2.26E+07	J/kg	(Houshyar, Wu and Chen, 2018)
Tiempo	1	año	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993		

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (Área terrestre) x (Fracción de materia orgánica) x (Erosión del suelo anual total) x (Energía de la materia orgánica) x (Tiempo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (10,000 m<sup>2</sup>) x (0.024) x (5.00E-01 kg/m<sup>2</sup>/año) x (2.26E+07 J/kg) x (1 año) x (0.993)

$$= 2.72E+09 \text{ J}$$

### Recursos adquiridos (F)

#### 16 Combustible líquido para motor

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Volumen de combustible	8.45E-05	L/m <sup>2</sup>	
Energía del combustible	1.32E+08	J/gal	(Brandt-Williams, 2002)
Energía del combustible	3.49E+07	J/L	

Combustible líquido para motor = (Área terrestre) x (Volumen de combustible) x (Energía del combustible)

Combustible líquido para motor = (10,000 m<sup>2</sup>) x (8.45E-05 L/m<sup>2</sup>) x (3.49E+07 J/L)

$$= 2.95E+07 \text{ J}$$

#### 17 Nitrógeno (urea)

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Cantidad de fertilizante	16	g/m <sup>2</sup> /año
Masa molecular del N <sub>2</sub>	28	gmol
Masa molecular del fertilizante	60.06	gmol
Tiempo	1	año

Nitrógeno (urea) = (Área terrestre) x (Cantidad de fertilizante) x (Masa molecular del N<sub>2</sub> / Masa molecular del fertilizante) x (Tiempo)

Nitrógeno (urea) = (10,000 m<sup>2</sup>) x (16 g/m<sup>2</sup>/año) x (28 gmol / 60.06 gmol) x (1 año)

$$= 7.46E+04 \text{ g}$$

#### 18 Fosforo (DAP)

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Cantidad de fertilizante	4	g/m <sup>2</sup> /año
Masa molecular del P	30.97	gmol
Masa molecular del fertilizante	132	gmol
Tiempo	1	año

Fosforo (DAP) = (Área terrestre) x (Cantidad de fertilizante) x (Masa molecular del P / Masa molecular del fertilizante) x (Tiempo)

Fosforo (DAP) = (10,000 m<sup>2</sup>) x (4 g/m<sup>2</sup>/año) x (30.97 gmol / 132 gmol) x (1 año)

$$= 9.39E+03 \text{ g}$$

## 19 Nitrógeno (DAP)

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Cantidad de fertilizante	4	g/m <sup>2</sup> /año
Masa molecular del (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	36.08	gmol
Masa molecular del fertilizante	132	gmol
Tiempo	1	año

Nitrógeno (DAP) = (Área terrestre) x (Cantidad de fertilizante) x (Masa molecular del (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> / Masa molecular del fertilizante) x (Tiempo)

$$\begin{aligned} \text{Nitrógeno (DAP)} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (4 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (36.08 \text{ gmol} / 132 \text{ gmol}) \times (1 \text{ año}) \\ &= 1.09\text{E}+04 \text{ g} \end{aligned}$$

## 21 Labor de campo no renovable

Plantación:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Plantación} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E}-04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 2.40\text{E}+01 \text{ h} \end{aligned}$$

Fertilización:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	2	personas

Fertilización = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Fertilización} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E}-04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (2 \text{ personas}) \\ &= 1.60\text{E}+01 \text{ h} \end{aligned}$$

Aporque:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Aporque = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Aporque} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 7.20\text{E+}01 \text{ h} \end{aligned}$$

Despunte:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	2.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Despunte = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Despunte} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (2.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 4.80\text{E+}01 \text{ h} \end{aligned}$$

Cosecha:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Cosecha} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 7.20\text{E+}01 \text{ h} \end{aligned}$$

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h (Guillen-Trujillo, 1998)

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 (NEAD, 2021)

Labor de campo no renovable = (Plantación + Fertilización + Aporque + Despunte + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\begin{aligned} \text{Labor de campo no renovable} &= (2.40\text{E+}01 \text{ h} + 1.60\text{E+}01 \text{ h} + 7.20\text{E+}01 \text{ h} + 4.80\text{E+}01 \text{ h} + 7.20\text{E+}01 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89) \end{aligned}$$

$$= 7.14\text{E+}07 \text{ J}$$

## 22 Labor postcosecha no renovable

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	8.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	7	h/día/persona
No. De personas	4	personas

Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	(Guillen-Trujillo, 1998)
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		(NEAD, 2021)
Labor postcosecha no renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)			
Labor postcosecha no renovable = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (8.00E-04 día/m <sup>2</sup> ) x (7 h/día/persona) x (4 personas) x (1.47E+06 J/h) x (0.24) x (0.89)			
	=	6.89E+07	J

### 23 Servicio de tractor

Barbecho:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Costo de servicio	1.20E-01	MX\$/m <sup>2</sup>	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	(BANXICO, 2019)
Barbecho = [(Área terrestre) x (Costo de servicio)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)			
Barbecho = [(10,000 m <sup>2</sup> ) x (1.20E-01 MX\$/m <sup>2</sup> )] / (19.24 MX\$/US\$)			
	=	6.24E+01	US\$

Surcado:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Costo de servicio	8.00E-02	MX\$/m <sup>2</sup>	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	(BANXICO, 2019)
Surcado = [(Área terrestre) x (Costo de servicio)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)			
Surcado = [(10,000 m <sup>2</sup> ) x (8.00E-02 MX\$/m <sup>2</sup> )] / (19.24 MX\$/US\$)			
	=	4.16E+01	US\$

Servicio de tractor = (Barbecho) + (Surcado)

Servicio de tractor = (6.24E+01 US\$) + (4.16E+01 US\$)			
	=	1.04E+02	US\$

**Tabla A2.** Cálculo de los flujos de entrada para el cultivo de frijol en la Tabla 6.9.

#### Recursos renovables locales (R)

##### 1 Luz solar

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Insolación promedio	2.17E+07	J/m <sup>2</sup> /día	(NASA-POWER, no date)

Albedo	0.13		(NASA-POWER, no date)
Duración del ciclo de cultivo	150	días	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Luz solar = (Área terrestre) x (Insolación promedio) x (1-Albedo) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\begin{aligned} \text{Luz solar} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (2.17\text{E}+07 \text{ J/m}^2/\text{día}) \times (1-0.13) \times (150 \text{ días}) \times (0.003) \\ &= 9.15\text{E}+10 \text{ J} \end{aligned}$$

## 2 Energía cinética del viento

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Densidad del aire	1.23	kg/m <sup>3</sup>	(Odum, 1996)
Coeficiente de arrastre terrestre	0.002		(Garratt, 1977)
Velocidad del viento promedio (10 m)	2.66	m/s	
Ratio de velocidad del viento de superficie y la velocidad del viento geostrófico	0.6		(Reiter, 1969)
Velocidad del viento geostrófico	(2.66) / (0.6)	m/s	
Duración del ciclo de cultivo	1.30E+07	s	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía cinética del viento = (Área terrestre) x (Densidad del aire) x (Coeficiente de arrastre terrestre) x (Velocidad del viento geostrófico)<sup>3</sup> x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\begin{aligned} \text{Energía cinética del viento} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (1.23 \text{ kg/m}^3) \times (0.002) \times (4.43 \text{ m/s})^3 \times (1.30\text{E}+07 \text{ s}) \times (0.003) \\ &= 8.97\text{E}+07 \text{ J} \end{aligned}$$

## 3 Energía potencial química de la lluvia

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Precipitación anual promedio	2.59E-03	m/día	(NASA-POWER, no date)
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	150	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	(Campbell, 2003)
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía potencial química de la lluvia = (Área terrestre) x (Precipitación anual promedio) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía potencial química de la lluvia =  $(10,000 \text{ m}^2) \times (2.59\text{E-}03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E+}06 \text{ g/m}^3) \times (150 \text{ días}) \times (4.74 \text{ J/g}) \times (0.003)$

$$= 5.95\text{E+}07 \text{ J}$$

#### 4 Energía de evapotranspiración

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Evapotranspiración	1.67E-03	m/día	
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	150	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	(Campbell, 2003)
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía de evapotranspiración = (Área terrestre) x (Evapotranspiración) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía de evapotranspiración =  $(10,000 \text{ m}^2) \times (1.67\text{E-}03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E+}06 \text{ g/m}^3) \times (150 \text{ días}) \times (4.74 \text{ J/g}) \times (0.003)$

$$= 3.83\text{E+}07 \text{ J}$$

#### Retroalimentaciones de refuerzo:

#### 7 Residuos de planta de frijol

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso seco de la planta	2.49E-01	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Energía por gramo peso seco	15.01	MJ/kg	(Asgharipour <i>et al.</i> , 2019)
Energía por gramo peso seco	1.50E+04	J/g	

Residuos de planta de frijol = (Área terrestre) x (Peso seco de la planta) x (Tiempo) x (Energía por gramo peso seco)

Residuos de planta de frijol =  $(10,000 \text{ m}^2) \times (2.49\text{E-}01 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (1.50\text{E+}04 \text{ J/g})$

$$= 3.74\text{E+}07 \text{ J}$$

#### 9 Semilla de frijol

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	2.00E-02	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Fracción de humedad promedio	0.12		
Energía por gramo peso húmedo	3.33	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	1.58E+04	J/g	

Semilla de frijol = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (Tiempo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)

$$\text{Semilla de frijol} = (10,000 \text{ m}^2) \times (2.00\text{E-}02 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (1-0.12) \times (1.58\text{E+}04 \text{ J/g})$$

$$= 2.79\text{E+}06 \text{ J}$$

## 12 Labor de campo renovable

Plantación:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.60E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Plantación} = (10,000 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (2.60\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 7.80\text{E-}02 \text{ h}$$

Cosecha:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.60E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (10,000 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}04 \text{ day/m}^2) \times (2.60\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 2.34\text{E-}01 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	(Guillen-Trujillo, 1998)
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional

0.24

Fracción no renovable promedio

0.89 (NEAD, 2021)

Labor de campo renovable = (Plantación + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x {1- [(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

$$\text{Labor de campo renovable} = (7.80\text{E-}02 \text{ h} + 2.34\text{E-}01 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times \{1-[(0.24) \times (0.89)]\}$$

$$= 3.61\text{E+}05 \text{ J}$$

## 13 Labor postcosecha renovable

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>

Horas de trabajo por día por persona	5.00E-01	h/día/persona	
No. De personas	1	persona	
Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	(Guillen-Trujillo, 1998)
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		(NEAD, 2021)

Labor postcosecha renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

Labor postcosecha renovable = (10,000 m<sup>2</sup>) x (1.00E-04 día/m<sup>2</sup>) x (5.00E-01 h/día/persona) x (1 persona) x (1.47E+06 J/h) x {1-[(0.24) x (0.89)]}

$$= 5.79E+05 \text{ J}$$

### Recursos no renovables locales (N)

#### 14 Pérdida neta de la capa superficial del suelo

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Fracción de materia orgánica	0.024		
Erosión del suelo anual total	5.00E-01	kg/m <sup>2</sup> /año	
Energía de la materia orgánica	2.26E+07	J/kg	(Houshyar, Wu and Chen, 2018)
Tiempo	1	año	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (Área terrestre) x (Fracción de materia orgánica) x (Erosión del suelo anual total) x (Energía de la materia orgánica) x (Tiempo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (10,000 m<sup>2</sup>) x (0.024) x (5.00E-01 kg/m<sup>2</sup>/año) x (2.26E+07 J/kg) x (1 año) x (0.003)

$$= 8.83E+06 \text{ J}$$

### Recursos adquiridos (F)

#### 16 Combustible líquido para motor

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Volumen de combustible	2.11E-05	L/m <sup>2</sup>	
Energía del combustible	1.32E+08	J/gal	(Brandt-Williams, 2002)
Energía del combustible	3.49E+07	J/L	

Combustible líquido para motor = (Área terrestre) x (Volumen de combustible) x (Energía del combustible)

$$\begin{aligned} \text{Combustible líquido para motor} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (2.11\text{E-}05 \text{ L/m}^2) \times (3.49\text{E+}07 \text{ J/L}) \\ &= 7.37\text{E+}06 \text{ J} \end{aligned}$$

## 21 Labor de campo no renovable

Plantación:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.60E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Plantación} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (2.60\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 7.80\text{E-}02 \text{ h} \end{aligned}$$

Cosecha:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.60E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Cosecha} &= (10,000 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (2.60\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 2.34\text{E-}01 \text{ h} \end{aligned}$$

Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	(Guillen-Trujillo, 1998)
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 (NEAD, 2021)

Labor de campo no renovable = (Plantación + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\begin{aligned} \text{Labor de campo no renovable} &= (7.80\text{E-}02 \text{ h} + 2.34\text{E-}01 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89) \\ &= 9.61\text{E+}04 \text{ J} \end{aligned}$$

## 22 Labor postcosecha no renovable

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	5.00E-01	h/día/persona
No. De personas	1	persona

Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	(Guillen-Trujillo, 1998)
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		(NEAD, 2021)
Labor postcosecha no renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)			
Labor postcosecha no renovable = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (1.00E-04 día/m <sup>2</sup> ) x (5.00E-01 h/día/persona) x (1 persona) x (1.47E+06 J/h) x (0.24) x (0.89)			
= 1.54E+05 J			

**Tabla A3.** Cálculo de los flujos de entrada para el cultivo de calabaza en la Tabla 6.9.

**Recursos renovables locales (R)**

**1 Luz solar**

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Insolación promedio	2.17E+07	J/m <sup>2</sup> /día	NASA POWER
Albedo	0.13		NASA POWER
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		
Luz solar = (Área terrestre) x (Insolación promedio) x (1-Albedo) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)			
Luz solar = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (2.17E+07 J/m <sup>2</sup> /día) x (1-0.13) x (180 días) x (0.003)			
= 1.16E+11 J			

**2 Energía cinética del viento**

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Densidad del aire	1.23	kg/m <sup>3</sup>	Odum, 1996
Coeficiente de arrastre terrestre	0.002		Garratt, 1977
Velocidad del viento promedio (10 m)	2.66	m/s	NASA POWER
Ratio de velocidad del viento de superficie y la velocidad del viento geostrofico	0.6		Reiter, 1969
Velocidad del viento geostrofico	(2.66) / (0.6)	m/s	
Duración del ciclo de cultivo	1.56E+07	s	

Proporción de la densidad de la población vegetal 0.003

Energía cinética del viento = (Área terrestre) x (Densidad del aire) x (Coeficiente de arrastre terrestre) x (Velocidad del viento geostrofico)<sup>3</sup> x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal )

$$\text{Energía cinética del viento} = (10,000 \text{ m}^2) \times (1.23 \text{ kg/m}^3) \times (0.002) \times (4.43 \text{ m/s})^3 \times (1.56\text{E}+07 \text{ s}) \times (0.003)$$

$$= 1.13\text{E}+08 \text{ J}$$

### 3 Energía potencial química de la lluvia

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Precipitación anual promedio	2.59E-03	m/día	NASA POWER
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía potencial química de la lluvia = (Área terrestre) x (Precipitación anual promedio) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\text{Energía potencial química de la lluvia} = (10,000 \text{ m}^2) \times (2.59\text{E}-03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E}+06 \text{ g/m}^3) \times (180 \text{ días}) \times (4.74 \text{ J/g}) \times (0.003)$$

$$= 7.52\text{E}+07 \text{ J}$$

### 4 Energía de evapotranspiración

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Evapotranspiración	1.67E-03	m/día	
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía de evapotranspiración = (Área terrestre) x (Evapotranspiración) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\text{Energía de evapotranspiración} = (10,000 \text{ m}^2) \times (1.67\text{E}-03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E}+06 \text{ g/m}^3) \times (180 \text{ días}) \times (4.74 \text{ J/g}) \times (0.003)$$

$$= 4.83\text{E}+07 \text{ J}$$

**Retroalimentaciones de refuerzo:**

## 5 Residuos de planta de calabaza

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso seco de la planta	2.91E+01	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Energía por gramo peso húmedo	0.19	Kcal/g	INCAP and OPS, 2012
Energía por gramo peso seco	1.12E+04	J/g	

Residuos de planta de calabaza = (Área terrestre) x (Peso seco de la planta) x (Tiempo) x (Energía por gramo peso seco)

Residuos de planta de calabaza = (10,000 m<sup>2</sup>) x (2.91E+01 g/m<sup>2</sup>/año) x (1 año) x (1.12E+04 J/g)

$$= 3.25E+09 \text{ J}$$

## 10 Semilla de calabaza

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	1.60E-02	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Fracción de humedad promedio	0.07		INCAP and OPS, 2012
Energía por gramo peso húmedo	5.41	Kcal/g	INCAP and OPS, 2012
Energía por gramo peso seco	2.43E+04	J/g	

Semilla de calabaza = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (Tiempo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)

Semilla de calabaza = (10,000 m<sup>2</sup>) x (1.60E-02 g/m<sup>2</sup>/año) x (1 año) x (1-0.07) x (2.43E+04 J/g)

$$= 3.62E+06 \text{ J}$$

## 12 Labor de campo renovable

Plantación:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	2.74E-02	h/día/persona	
No. De personas	3	personas	

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Plantación = (10,000 m<sup>2</sup>) x (1.00E-04 day/m<sup>2</sup>) x (2.74E-02 h/día/persona) x (3 personas)

$$= 8.22E-02 \text{ h}$$

Cosecha:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	2.74E-02	h/día/persona	

No. De personas	3	personas	
Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)			
Cosecha = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (3.00E-04 day/m <sup>2</sup> ) x (2.74E-02 h/día/persona) x (3 personas)			
	=	2.47E-01 h	
Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		Modificado de NEAD, 2021
Labor de campo renovable = (Plantación + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x {1- [(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}			
Labor de campo renovable = (8.22E-02 h + 2.47E-01 h) x (1.47E+06 J/h) x {1-[(0.24) x (0.89)]}			
	=	3.80E+05 J	

### 13 Labor postcosecha renovable

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	5.00E-01	h/día/persona	
No. De personas	1	persona	
Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		Modificado de NEAD, 2021
Labor postcosecha renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}			
Labor postcosecha renovable = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (1.00E-04 día/m <sup>2</sup> ) x (5.00E-01 h/día/persona) x (1 persona) x (1.47E+06 J/h) x {1-[(0.24) x (0.89)]}			
	=	5.79E+05 J	

### Recursos no renovables locales (N)

#### 14 Pérdida neta de la capa superficial del suelo

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Fracción de materia orgánica	0.024		

Erosión del suelo anual total	5.00E-01	kg/m <sup>2</sup> /año	
Energía de la materia orgánica	2.26E+07	J/kg	Houshyar et al., 2018
Tiempo	1	año	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (Área terrestre) x (Fracción de materia orgánica) x (Erosión del suelo anual total) x (Energía de la materia orgánica) x (Tiempo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\text{Pérdida neta de la capa superficial del suelo} = (10,000 \text{ m}^2) \times (0.024) \times (5.00\text{E-}01 \text{ kg/m}^2/\text{año}) \times (2.26\text{E+}07 \text{ J/kg}) \times (1 \text{ año}) \times (0.003)$$

$$= 9.30\text{E+}06 \text{ J}$$

## Recursos adquiridos (F)

### 16 Combustible líquido para motor

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Volumen de combustible	2.11E-05	L/m <sup>2</sup>	
Energía del combustible	1.32E+08	J/gal	Brandt-Williams, 2002
Energía del combustible	3.49E+07	J/L	

Combustible líquido para motor = (Área terrestre) x (Volumen de combustible) x (Energía del combustible)

$$\text{Combustible líquido para motor} = (10,000 \text{ m}^2) \times (2.11\text{E-}05 \text{ L/m}^2) \times (3.49\text{E+}07 \text{ J/L})$$

$$= 7.37\text{E+}06 \text{ J}$$

### 21 Labor de campo no renovable

Plantación:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	2.74E-02	h/día/persona	
No. De personas	3	personas	

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Plantación} = (10,000 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ day/m}^2) \times (2.74\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 8.22\text{E-}02 \text{ h}$$

Cosecha:

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	2.74E-02	h/día/persona	
No. De personas	3	personas	

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (10,000 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}04 \text{ day/m}^2) \times (2.74\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 2.47\text{E-}01 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor de campo no renovable = (Plantación + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\text{Labor de campo no renovable} = (8.22\text{E-}02 \text{ h} + 2.47\text{E-}01 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89)$$

$$= 1.01\text{E+}05 \text{ J}$$

## 22 Labor postcosecha no renovable

Área terrestre 10,000 m<sup>2</sup>

Días de trabajo 1.00E-04 día/m<sup>2</sup>

Horas de trabajo por día por persona 5.00E-01 h/día/persona

No. De personas 1 persona

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor postcosecha no renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\text{Labor postcosecha no renovable} = (10,000 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (5.00\text{E-}01 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ persona}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89)$$

$$= 1.54\text{E+}05 \text{ J}$$

**Tabla A4.** Cálculos de la producción anual de los coproductos y divisiones (splits) en la Tabla 6.10.

### a Residuos de plantas de calabaza

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Unidades de fruta de calabaza	8.64E-03	U/m <sup>2</sup>	Este estudio
Peso húmedo promedio por fruto de calabaza	1743.58	g/U	(Nerson, Paris and Paris, 2000; Valdés-Restrepo <i>et al.</i> , 2014; Chí-Sánchez <i>et al.</i> , 2020)
Peso seco promedio de biomasa de calabaza (de referencia)	1.20E+04	g/m <sup>2</sup>	(Fandika <i>et al.</i> , 2011)
Peso húmedo promedio de fruto de fruto de calabaza	6.20E+03	g/m <sup>2</sup>	(Fandika <i>et al.</i> , 2011)
Ratio de referencia de la biomasa y fruto	(1.20E+04) / (6.20E+03)		
Energía por gramo peso húmedo	0.19	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	1.12E+04	J/g	
Residuos de plantas de calabaza = (Área terrestre) x (Unidades de fruta de calabaza) x (Peso húmedo promedio por fruto de calabaza) x (Ratio de referencia de la biomasa y fruto) x (Energía por gramo peso seco)			
Residuos de plantas de calabaza = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (8.64E-03 U/m <sup>2</sup> ) x (1743.58 g/U) x (1.93) x (1.12E+04 J/g)			
	=	3.25E+09 J	

#### **b Forraje de maíz**

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Rendimiento seco de grano de maíz	1.08E+02	g/m <sup>2</sup>	Este estudio
Peso seco promedio de biomasa (de referencia)	375.63	g/m <sup>2</sup>	(Muñoz-Tlahuiz <i>et al.</i> , 2013)
Rendimiento promedio de grano de maíz (de referencia)	288.33	g/m <sup>2</sup>	(Muñoz-Tlahuiz <i>et al.</i> , 2013)
Ratio de referencia de la biomasa y rendimiento de grano de maíz	(375.63) / (288.33)		
Energía por gramo peso seco	1.47E+04	J/g	(Ghaley, Kehli and Mentler, 2018)
Forraje de maíz = (Área terrestre) x (Rendimiento seco de grano de maíz) x (Ratio de referencia de la biomasa y rendimiento de grano de maíz) x (Energía por gramo peso seco)			
Forraje de maíz = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (1.08E+02 g/m <sup>2</sup> ) x (1.30) x (1.47E+04 J/g)			
	=	2.06E+10 J	

#### **b1 Forraje de maíz para fuerza animal**

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
----------------	--------	----------------	--

Peso seco	1.56E-01	g/m <sup>2</sup>	Este estudio
Energía por gramo peso seco	1.47E+04	J/g	(Ghaley, Kehli and Mentler, 2018)
Forraje de maíz para fuerza animal = (Área terrestre) x (Peso seco) x (Energía por gramo peso seco)			
Forraje de maíz para fuerza animal = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (1.56E-01 g/m <sup>2</sup> ) x (1.47E+04 J/g)			
= 2.29E+07 J			

**b2 Forraje de maíz (alimento animal)**

Forraje de maíz total	2.06E+10	J	
Forraje de maíz para fuerza animal	2.29E+07	J	
Forraje de maíz (alimento animal) = (Forraje de maíz total) - (Forraje de maíz para fuerza animal)			
Forraje de maíz (alimento animal) = (2.06E+10 J) - (2.29E+07 J)			
= 2.06E+10 J			

**c Residuos de planta de frijol**

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Rendimiento seco de frijol	0.16	g/m <sup>2</sup>	Este estudio
			(Escalante-Estrada, Rodríguez-González and Escalante-Estrada, 2015; Escalante-estrada and Rodríguez-González, 2017; Asgharipour <i>et al.</i> , 2019)
Peso seco promedio de biomasa (de referencia)	281.53	g/m <sup>2</sup>	(Escalante-Estrada, Rodríguez-González and Escalante-Estrada, 2015; Escalante-estrada and Rodríguez-González, 2017; Asgharipour <i>et al.</i> , 2019)
Rendimiento promedio de frijol (de referencia)	180.87	g/m <sup>2</sup>	(Escalante-Estrada, Rodríguez-González and Escalante-Estrada, 2015; Escalante-estrada and Rodríguez-González, 2017; Asgharipour <i>et al.</i> , 2019)
Ratio de referencia de la biomasa y rendimiento de frijol	(281.53) / (180.87)		
Energía por gramo peso seco	15.01	MJ/kg	(Asgharipour <i>et al.</i> , 2019)
Energía por gramo peso seco	1.50E+04	J/g	
Residuos de planta de frijol = (Área terrestre) x (Rendimiento seco de frijol) x (Ratio de referencia de la biomasa y rendimiento de frijol) x (Energía por gramo peso seco)			
Residuos de planta de frijol = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (0.16 g/m <sup>2</sup> ) x (1.56) x (1.50E+04 J/g)			
= 3.74E+07 J			

**d Grano de maíz**

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	146.28	g/m <sup>2</sup>	Este estudio
Fracción de humedad promedio	0.26		Este estudio
Energía por gramo peso húmedo	3.65	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	1.70E+04	J/g	
Grano de maíz = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)			
Grano de maíz = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (146.28 g/m <sup>2</sup> ) x (1-0.26) x (1.70E+04 J/g)			
= 1.84E+10 J			

#### d1 Semilla de maíz para plantación

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	0.72	g/m <sup>2</sup>	Este estudio
Fracción de humedad promedio	0.26		Este estudio
Energía por gramo peso húmedo	3.65	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	1.70E+04	J/g	
Semilla de maíz para plantación = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)			
Semilla de maíz para plantación = (10,000 m <sup>2</sup> ) x (0.72 g/m <sup>2</sup> ) x (1-0.26) x (1.70E+04 J/g)			
= 9.04E+07 J			

#### d2 Grano de maíz para el consumo familiar

Grano de maíz total	1.84E+10	J	
Semilla de maíz para plantación	9.04E+07	J	
Grano de maíz para el consumo familiar = (Grano de maíz total) - (Semilla de maíz para plantación)			
Grano de maíz para el consumo familiar = (1.84E+10 J) - (9.04E+07 J)			
= 1.83E+10 J			

#### e Frijol

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	0.16	g/m <sup>2</sup>	Este estudio
Fracción de humedad promedio	0.12		(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso húmedo	3.33	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	1.58E+04	J/g	
Frijol = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)			

$$\text{Frijol} = (10,000 \text{ m}^2) \times (0.16 \text{ g/m}^2) \times (1-0.12) \times (1.58\text{E}+04 \text{ J/g})$$

$$= 2.23\text{E}+07 \text{ J}$$

#### e1 Semilla de frijol para plantación

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	0.02	g/m <sup>2</sup>	Este estudio (INCAP and OPS, 2012)
Fracción de humedad promedio	0.12		
Energía por gramo peso húmedo	3.33	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	1.58E+04	J/g	

$$\text{Semilla de frijol para plantación} = (\text{Área terrestre}) \times (\text{Peso húmedo}) \times (1-\text{Fracción de humedad promedio}) \times (\text{Energía por gramo peso seco})$$

$$\text{Semilla de frijol para plantación} = (10,000 \text{ m}^2) \times (0.02 \text{ g/m}^2) \times (1-0.12) \times (1.58\text{E}+04 \text{ J/g})$$

$$= 2.79\text{E}+06 \text{ J}$$

#### e2 Frijol para el consumo familiar

Frijol total	2.23E+07	J
Semilla de frijol para plantación	2.79E+06	J
Frijol para el consumo familiar = (Frijol total) - (Semilla de frijol para plantación)		
Frijol para el consumo familiar = (2.23E+07 J) - (2.79E+06 J)		
	=	1.95E+07 J

#### f Semilla de calabaza

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Unidades de fruto de calabaza	8.64E-03	U/m <sup>2</sup>	Este estudio (Nerson, Paris and Paris, 2000; Valdés- Restrepo <i>et al.</i> , 2014; Chí-Sánchez <i>et al.</i> , 2020)
Peso húmedo promedio por fruto de calabaza	1743.58	g/U	
Fracción de semilla	0.03		(Nerson, Paris and Paris, 2000; Valdés- Restrepo <i>et al.</i> , 2014; Chí-Sánchez <i>et al.</i> , 2020)
Fracción de humedad promedio	0.07		(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso húmedo	5.41	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	2.43E+04	J/g	

$$\text{Semilla de calabaza} = (\text{Área terrestre}) \times (\text{Unidades de fruto de calabaza}) \times (\text{Peso húmedo promedio por fruto de calabaza}) \times (\text{Fracción de semilla}) \times (1-\text{Fracción de humedad promedio}) \times (\text{Energía por gramo peso seco})$$

$$\text{Semilla de calabaza} = (10,000 \text{ m}^2) \times (8.64\text{E-}03 \text{ U/m}^2) \times (1743.58 \text{ g/U}) \times (0.03) \times (1-0.07) \times (2.43\text{E+}04 \text{ J/g})$$

$$= 1.05\text{E+}08 \text{ J}$$

#### f1 Semilla de calabaza para plantación

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	1.60E-02	g/m <sup>2</sup>	Este estudio
Fracción de humedad promedio	0.07		(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso húmedo	5.41	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
Energía por gramo peso seco	2.43E+04	J/g	

$$\text{Semilla de calabaza para plantación} = (\text{Área terrestre}) \times (\text{Peso húmedo}) \times (1-\text{Fracción de humedad promedio}) \times (\text{Energía por gramo peso seco})$$

$$\text{Semilla de calabaza para plantación} = (10,000 \text{ m}^2) \times (1.60\text{E-}02 \text{ g/m}^2) \times (1-0.07) \times (2.43\text{E+}04 \text{ J/g})$$

$$= 3.62\text{E+}06 \text{ J}$$

#### f2 Semilla de calabaza para el consumo familiar

Semilla de calabaza total	1.05E+08	J
Semilla de calabaza para plantación	3.62E+06	J

$$\text{Semilla de calabaza para el consumo familiar} = (\text{Semilla de calabaza total}) - (\text{Semilla de calabaza para plantación})$$

$$\text{Semilla de calabaza para el consumo familiar} = (1.05\text{E+}08 \text{ J}) - (3.62\text{E+}06 \text{ J})$$

$$= 1.01\text{E+}08 \text{ J}$$

#### g Pulpa de calabaza

Área terrestre	10,000	m <sup>2</sup>	
Unidades de fruto de calabaza	8.64E-03	U/m <sup>2</sup>	Este estudio
Peso húmedo promedio por fruto de calabaza	1743.58	g/U	(Nerson, Paris and Paris, 2000; Valdés-Restrepo <i>et al.</i> , 2014; Chí-Sánchez <i>et al.</i> , 2020)
Fracción de calabaza comestible	0.53		(INCAP and OPS, 2012)
Fracción de semilla	0.03		Nerson <i>et al.</i> , 2000; Valdés-Restrepo <i>et al.</i> , 2014; Chí-Sánchez <i>et al.</i> , 2020
Fracción de humedad promedio (fracción comestible)	0.91		(INCAP and OPS, 2012)
Fracción de humedad promedio (fracción de semilla)	0.07		(INCAP and OPS, 2012)

Energía por gramo peso húmedo	0.30	Kcal/g	(INCAP and OPS, 2012)
-------------------------------	------	--------	-----------------------

Energía por gramo peso seco	1.39E+04	J/g	
-----------------------------	----------	-----	--

Pulpa de calabaza = (Área terrestre) x (Unidades de fruto de calabaza) x {[Peso húmedo promedio por fruto de calabaza) x (Fracción de calabaza comestible) x (1-Fracción de humedad promedio de la fracción de calabaza comestible)] - [(Peso húmedo promedio por fruto de calabaza) x (Fracción de semilla) x (1-Fracción de humedad promedio de la fracción de semilla)]} x (Energía por gramo peso seco)

Pulpa de calabaza = (10,000 m<sup>2</sup>) x (8.64E-03 U/m<sup>2</sup>) x {[ (1743.58 g/U) x (0.53) x (1-0.91)] - [(1743.58 g/U) x (0.03) x (1-0.07)]} x (1.39E+04 J/g)

= 3.99E+07 J

## Apéndice B. Cálculos de los flujos de energía en el sistema jitomate

Tabla B. Cálculo de los flujos de entrada para el cultivo de jitomate en la Tabla 6.11.

### Recursos renovables locales (R)

#### 1 Luz solar

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Insolación promedio	2.17E+07	J/m <sup>2</sup> /día	NASA POWER
Albedo	0.13		NASA POWER
Duración del ciclo de cultivo	365	días	
Fracción de la transmisión de luz del plástico de la cubierta	0.9		

Luz solar = (Área terrestre) x (Insolación promedio) x (1-Albedo) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Fracción de la transmisión de luz del plástico de la cubierta)

Luz solar = (1 m<sup>2</sup>) x (2.17E+07 J/m<sup>2</sup>/día) x (1-0.13) x (365 días) x (0.9)

= 6.20E+09 J

#### 2 Energía cinética del viento

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Densidad del aire	1.23	kg/m <sup>3</sup>	Odum, 1996
Coeficiente de arrastre terrestre	0.002		Garratt, 1977
Velocidad del viento promedio (10 m)	2.66	m/s	NASA POWER
Ratio de velocidad del viento de superficie y la velocidad del viento geostrófico	0.6		Reiter, 1969
Velocidad del viento geostrófico	(2.66) / (0.6)	m/s	
Duración del ciclo de cultivo	3.15E+07	s	

Energía cinética del viento = (Área terrestre) x (Densidad del aire) x (Coeficiente de arrastre terrestre) x (Velocidad del viento geostrófico)<sup>3</sup> x (Duración del ciclo de cultivo)

$$\begin{aligned} \text{Energía cinética del viento} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.23 \text{ kg/m}^3) \times (0.002) \times (4.43 \text{ m/s})^3 \times (3.15\text{E}+07 \text{ s}) \\ &= 6.76\text{E}+06 \text{ J} \end{aligned}$$

### 3 Energía potencial química de la lluvia (recolección)

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Cantidad anual de agua de lluvia captada	4.73E+02	L/m <sup>2</sup> /año	
Densidad del agua	1.00E+03	g/L	
Duración del ciclo de cultivo	1	año	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003

Energía potencial química de la lluvia (recolección) = (Área terrestre) x (Cantidad anual de agua de lluvia captada) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs)

$$\begin{aligned} \text{Energía potencial química de la lluvia (recolección)} &= (1 \text{ m}^2) \times (9.46\text{E}+02 \text{ L/m}^2/\text{año}) \times \\ &(1.00\text{E}+03 \text{ g/L}) \times (1 \text{ año}) \times (4.74 \text{ J/g}) \\ &= 2.24\text{E}+06 \text{ J} \end{aligned}$$

### 4 Energía de evapotranspiración

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Evapotranspiración	1.74E-03	m/día	
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	365	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003

Energía de evapotranspiración = (Área terrestre) x (Evapotranspiración) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs)

$$\begin{aligned} \text{Energía de evapotranspiración} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.74\text{E}-03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E}+06 \text{ g/m}^3) \times (365 \text{ días}) \times \\ &(4.74 \text{ J/g}) \\ &= 3.01\text{E}+06 \text{ J} \end{aligned}$$

### Retroalimentaciones de refuerzo:

### 5 Labor renovable

Preparación del suelo y trasplante

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	7.50E-02	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	2.5	h/día/persona	
No. De personas	1	personas	

Preparación del suelo y trasplante = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Preparación del suelo y trasplante} &= (1 \text{ m}^2) \times (7.50\text{E}-02 \text{ día/m}^2) \times (2.5 \text{ h/día/persona}) \times (1 \\ &\text{ personas}) \end{aligned}$$

$$= 1.88E-01 \text{ h}$$

#### Abonado

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	7.50E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Abonado = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Abonado} = (1 \text{ m}^2) \times (7.50E-02 \text{ día/m}^2) \times (0.5 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 3.75E-02 \text{ h}$$

#### Cosecha

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	5.25E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (1 \text{ m}^2) \times (5.25E-01 \text{ día/m}^2) \times (2 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 1.05E+00 \text{ h}$$

#### Control de plagas y enfermedades

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	1.20E+00	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Control de plagas y enfermedades = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Control de plagas y enfermedades} = (1 \text{ m}^2) \times (1.20E+00 \text{ día/m}^2) \times (0.5 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 6.00E-01 \text{ h}$$

#### Podas formativas y deshierbe

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	3.38E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Podas formativas y deshierbe = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Podas formativas y deshierbe} = (1 \text{ m}^2) \times (3.38\text{E-}01 \text{ día/m}^2) \times (0.5 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 1.69\text{E-}01 \text{ h}$$

Tutoreo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	1.20E+00	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	1	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Tutoreo = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Tutoreo} = (1 \text{ m}^2) \times (1.20\text{E+}00 \text{ día/m}^2) \times (1 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 1.20\text{E+}00 \text{ h}$$

Amarre para tutoreo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	7.50E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	4	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Amarre para tutoreo = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Amarre para tutoreo} = (1 \text{ m}^2) \times (7.50\text{E-}02 \text{ día/m}^2) \times (4 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 3.00\text{E-}01 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	

Fracción de personas que trabajan en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor renovable = (Preparación del suelo y trasplante + Abonado + Cosecha + Control de plagas y enfermedades + Podas formativas y deshierbe + Tutoreo + Amarre para tutoreo) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

$$\text{Labor renovable} = (1.88\text{E-}01 \text{ h} + 3.75\text{E-}02 \text{ h} + 1.05\text{E+}00 \text{ h} + 6.00\text{E-}01 \text{ h} + 1.69\text{E-}01 \text{ h} + 1.20\text{E+}00 \text{ h} + 3.00\text{E-}01 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times \{1-[(0.24) \times (0.89)]\}$$

$$= 4.10\text{E+}06 \text{ J}$$

## Recursos no renovables locales (N)

### 6 Pérdida neta de la capa superficial del suelo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
----------------	---	----------------

Fracción de materia orgánica	0.0605		
Erosión del suelo anual total	0.00E+00	kg/m <sup>2</sup> /año	
Energía de la materia orgánica	2.26E+07	J/kg	Houshyar et al., 2018
Time	1	año	

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (Área terrestre) x (Fracción de materia orgánica) x (Erosión del suelo anual total) x (Energía de la materia orgánica) x (Tiempo)

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (1 m<sup>2</sup>) x (0.0605) x (0.00E+00 kg/m<sup>2</sup>/año) x (2.26E+07 J/kg) x (1 año)

$$= 0.00E+00 \text{ J}$$

## 7 Agua subterránea

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Cantidad anual de agua utilizada	3.61E+02	L/m <sup>2</sup> /año	
Densidad del agua	1.00E+03	g/L	
Duración del ciclo de cultivo	1	año	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003

Agua subterránea = (Área terrestre) x (Cantidad anual de agua utilizada) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs)

Agua subterránea = (1 m<sup>2</sup>) x (3.61E+02 L/m<sup>2</sup>/año) x (1.00E+03 g/L) x (1 año) x (4.74 J/g)

$$= 1.71E+06 \text{ J}$$

## Recursos adquiridos (F)

### 8 Combustible líquido para motor

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Volumen de combustible	6.13E-01	L/m <sup>2</sup>	
Energía del combustible	1.32E+08	J/gal	Brandt-Williams, 2002
Energía del combustible	3.49E+07	J/L	

Combustible líquido para motor = (Área terrestre) x (Volumen de combustible) x (Energía del combustible)

Combustible líquido para motor = (1 m<sup>2</sup>) x (6.13E-01 L/m<sup>2</sup>) x (3.49E+07 J/L)

$$= 2.14E+07 \text{ J}$$

### 9 Labor no renovable

Preparación del suelo y trasplante

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	7.50E-02	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	2.5	h/día/persona	
No. De personas	1	personas	

Preparación del suelo y trasplante = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Preparación del suelo y trasplante = (1 m<sup>2</sup>) x (7.50E-02 día/m<sup>2</sup>) x (2.5 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 1.88E-01 \text{ h}$$

Abonado

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	7.50E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Abonado = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Abonado = (1 m<sup>2</sup>) x (7.50E-02 día/m<sup>2</sup>) x (0.5 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 3.75E-02 \text{ h}$$

Cosecha

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	5.25E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Cosecha = (1 m<sup>2</sup>) x (5.25E-01 día/m<sup>2</sup>) x (2 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 1.05E+00 \text{ h}$$

Control de plagas y enfermedades

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	1.20E+00	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Control de plagas y enfermedades = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Control de plagas y enfermedades = (1 m<sup>2</sup>) x (1.20E+00 día/m<sup>2</sup>) x (0.5 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 6.00E-01 \text{ h}$$

Podas formativas y deshierbe

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	3.38E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona

No. De personas 1 personas

Podas formativas y deshierbe = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Podas formativas y deshierbe = (1 m<sup>2</sup>) x (3.38E-01 día/m<sup>2</sup>) x (0.5 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 1.69E-01 \text{ h}$$

Tutoreo

Área terrestre 1 m<sup>2</sup>

Días de trabajo por m<sup>2</sup> 1.20E+00 día/m<sup>2</sup>

Horas de trabajo por día por persona 1 h/día/persona

No. De personas 1 personas

Tutoreo = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Tutoreo = (1 m<sup>2</sup>) x (1.20E+00 día/m<sup>2</sup>) x (1 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 1.20E+00 \text{ h}$$

Amarre para tutoreo

Área terrestre 1 m<sup>2</sup>

Días de trabajo por m<sup>2</sup> 7.50E-02 día/m<sup>2</sup>

Horas de trabajo por día por persona 4 h/día/persona

No. De personas 1 personas

Amarre para tutoreo = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Amarre para tutoreo = (1 m<sup>2</sup>) x (7.50E-02 día/m<sup>2</sup>) x (4 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 3.00E-01 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor no renovable = (Preparación del suelo y trasplante + Abonado + Cosecha + Control de plagas y enfermedades + Podas formativas y deshierbe + Tutoreo + Amarre para tutoreo) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

Labor no renovable = (1.88E-01 h + 3.75E-02 h + 1.05E+00 h + 6.00E-01 h + 1.69E-01 h + 1.20E+00 h + 3.00E-01 h) x (1.47E+06 J/h) x (0.24) x (0.89)

$$= 1.09E+06 \text{ J}$$

## 10 Plántula

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Cantidad anual de plántulas	18.75	plánt/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Costo de la plántula	2.44	MX\$/plánt	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	Banco de México, 2019

Plántula = [(Área terrestre) x (Cantidad anual de plántula) x (Tiempo) x (Costo de la plántula)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)

$$\text{Plántula} = [(1 \text{ m}^2) \times (18.75 \text{ plánt/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (2.44 \text{ MX\$/plánt})] / (19.24 \text{ MX\$/US\$})$$

$$= 2.38\text{E}+00 \text{ US\$}$$

#### 11 Estiércol de cabra

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Costo anual del estiércol	5	MX\$/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	Banco de México, 2019

Estiércol de cabra = [(Área terrestre) x (Costo anual del estiércol) x (Tiempo)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)

$$\text{Estiércol de cabra} = [(1 \text{ m}^2) \times (5 \text{ MX\$/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año})] / (19.24 \text{ MX\$/US\$})$$

$$= 2.60\text{E}-01 \text{ US\$}$$

### Apéndice C. Cálculos de los flujos de energía en el sistema milpa-jitomate

**Tabla C1.** Cálculo de los flujos de entrada para el cultivo de maíz en la Tabla 6.12.

#### Recursos renovables locales (R)

##### 1 Luz solar

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Insolación promedio	2.17E+07	J/m <sup>2</sup> /día	NASA POWER
Albedo	0.13		NASA POWER
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993		

Luz solar = (Área terrestre) x (Insolación promedio) x (1-Albedo) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\text{Luz solar} = (1 \text{ m}^2) \times (2.17\text{E}+07 \text{ J/m}^2/\text{día}) \times (1-0.13) \times (180 \text{ días}) \times (0.993)$$

$$= 3.38\text{E}+09 \text{ J}$$

##### 2 Energía cinética del viento

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
----------------	---	----------------	--

Densidad del aire	1.23	kg/m <sup>3</sup>	Odum, 1996
Coefficiente de arrastre terrestre	0.002		Garratt, 1977
Velocidad del viento promedio (10 m)	2.66	m/s	NASA POWER
Ratio de velocidad del viento de superficie y la velocidad del viento geostrófico	0.6		Reiter, 1969
Velocidad del viento geostrófico	(2.66) / (0.6)	m/s	
Duración del ciclo de cultivo	1.56E+07	s	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993		

Energía cinética del viento = (Área terrestre) x (Densidad del aire) x (Coeficiente de arrastre terrestre) x (Velocidad del viento geostrófico)<sup>3</sup> x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal )

$$\begin{aligned} \text{Energía cinética del viento} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.23 \text{ kg/m}^3) \times (0.002) \times (4.43 \text{ m/s})^3 \times (1.56\text{E}+07 \text{ s}) \times (0.993) \\ &= 3.31\text{E}+06 \text{ J} \end{aligned}$$

### 3 Energía potencial química de la lluvia

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Precipitación anual promedio	2.59E-03	m/día	NASA POWER
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993		

Energía potencial química de la lluvia = (Área terrestre) x (Precipitación anual promedio) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\begin{aligned} \text{Energía potencial química de la lluvia} &= (1 \text{ m}^2) \times (2.59\text{E}-03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E}+06 \text{ g/m}^3) \times (180 \text{ días}) \times (4.74 \text{ J/g}) \times (0.993) \\ &= 2.20\text{E}+06 \text{ J} \end{aligned}$$

### 4 Energía de evapotranspiración

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Evapotranspiración	1.68E-03	m/día	
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.993		

Energía de evapotranspiración = (Área terrestre) x (Evapotranspiración) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\begin{aligned} \text{Energía de evapotranspiración} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.68\text{E-}03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E+}06 \text{ g/m}^3) \times (180 \text{ días}) \times \\ &(4.74 \text{ J/g}) \times (0.993) \\ &= 1.42\text{E+}06 \text{ J} \end{aligned}$$

**Retroalimentaciones de refuerzo:**

**6 Forraje de maíz para fuerza animal**

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Peso seco de la planta	1.56E-01	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Energía por gramo peso seco	1.47E+04	J/g	Ghaley et al., 2018

Forraje de maíz para fuerza animal = (Área terrestre) x (Peso seco de la planta) x (Tiempo) x (Energía por gramo peso seco)

$$\begin{aligned} \text{Forraje de maíz para fuerza animal} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.56\text{E-}01 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (1.47\text{E+}04 \text{ J/g}) \\ &= 2.29\text{E+}03 \text{ J} \end{aligned}$$

**8 Semilla de maíz**

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	1.20	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Fracción de humedad promedio	0.26		
Energía por gramo peso húmedo	3.65	Kcal/g	INCAP and OPS, 2012
Energía por gramo peso seco	1.70E+04	J/g	

Semilla de maíz = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (Tiempo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)

$$\begin{aligned} \text{Semilla de maíz} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.20 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (1-0.26) \times (1.70\text{E+}04 \text{ J/g}) \\ &= 1.51\text{E+}04 \text{ J} \end{aligned}$$

**12 Labor de campo renovable**

Plantación:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	12	personas

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Plantación} = (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (12 \text{ personas})$$

$$= 9.60E-03 \text{ h}$$

Fertilización:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	2	personas

Fertilización = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Fertilización} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.00E-04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (2 \text{ personas}) \\ &= 1.60E-03 \text{ h} \end{aligned}$$

Aporque:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Aporque = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Aporque} &= (1 \text{ m}^2) \times (3.00E-04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 7.20E-03 \text{ h} \end{aligned}$$

Despunte:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	2.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Despunte = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Despunte} &= (1 \text{ m}^2) \times (2.00E-04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 4.80E-03 \text{ h} \end{aligned}$$

Cosecha:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-03	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	12	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (1 \text{ m}^2) \times (3.00E-03 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (12 \text{ personas})$$

	=	2.88E-01 h		
Energía utilizada por hora		3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora		1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional		0.24		
Fracción no renovable promedio		0.89		Modificado de NEAD, 2021

Labor de campo renovable = (Plantación + Fertilización + Aporque + Despunte + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

Labor de campo renovable = (9.60E-03 h + 1.60E-03 h + 7.20E-03 h + 4.80E-03 h + 2.88E-01 h) x (1.47E+06 J/h) x {1-[(0.24) x (0.89)]}

$$= 3.60E+05 J$$

### 13 Labor postcosecha renovable

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>		
Días de trabajo	8.00E-04	día/m <sup>2</sup>		
Horas de trabajo por día por persona	7	h/día/persona		
No. De personas	3	personas		
Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h		Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h		
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24			
Fracción no renovable promedio	0.89			Modificado de NEAD, 2021

Labor postcosecha renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

Labor postcosecha renovable = (1 m<sup>2</sup>) x (8.00E-04 día/m<sup>2</sup>) x (7 h/día/persona) x (3 personas) x (1.47E+06 J/h) x {1-[(0.24) x (0.89)]}

$$= 1.94E+04 J$$

### Recursos no renovables locales (N)

#### 14 Pérdida neta de la capa superficial del suelo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>		
Fracción de materia orgánica	0.019			
Erosión del suelo anual total	5.00E-01	kg/m <sup>2</sup> /año		
Energía de la materia orgánica	2.26E+07	J/kg		Houshyar et al., 2018
Tiempo	1	año		

Proporción de la densidad de la población vegetal 0.993

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (Área terrestre) x (Fracción de materia orgánica) x (Erosión del suelo anual total) x (Energía de la materia orgánica) x (Tiempo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\begin{aligned} \text{Pérdida neta de la capa superficial del suelo} &= (1 \text{ m}^2) \times (0.019) \times (5.00\text{E-}01 \text{ kg/m}^2/\text{año}) \times \\ &(2.26\text{E+}07 \text{ J/kg}) \times (1 \text{ año}) \times (0.993) \\ &= 2.11\text{E+}05 \text{ J} \end{aligned}$$

### Recursos adquiridos (F)

#### 16 Combustible líquido para motor

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Volumen de combustible	6.36E-05	L/m <sup>2</sup>	
Energía del combustible	1.32E+08	J/gal	Brandt-Williams, 2002
Energía del combustible	3.49E+07	J/L	

Combustible líquido para motor = (Área terrestre) x (Volumen de combustible) x (Energía del combustible)

$$\begin{aligned} \text{Combustible líquido para motor} &= (1 \text{ m}^2) \times (8.45\text{E-}05 \text{ L/m}^2) \times (3.49\text{E+}07 \text{ J/L}) \\ &= 2.22\text{E+}03 \text{ J} \end{aligned}$$

#### 17 Nitrógeno (urea)

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Cantidad de fertilizante	5	g/m <sup>2</sup> /año
Masa molecular del N <sub>2</sub>	28	gmol
Masa molecular del fertilizante	60.06	gmol
Tiempo	1	año

Nitrógeno (urea) = (Área terrestre) x (Cantidad de fertilizante) x (Masa molecular del N<sub>2</sub> / Masa molecular del fertilizante) x (Tiempo)

$$\begin{aligned} \text{Nitrógeno (urea)} &= (1 \text{ m}^2) \times (5 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (28 \text{ gmol} / 60.06 \text{ gmol}) \times (1 \text{ año}) \\ &= 2.33\text{E+}00 \text{ g} \end{aligned}$$

#### 18 Fosforo (DAP)

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Cantidad de fertilizante	10	g/m <sup>2</sup> /año
Masa molecular del P	30.97	gmol
Masa molecular del fertilizante	132	gmol
Tiempo	1	año

Fosforo (DAP) = (Área terrestre) x (Cantidad de fertilizante) x (Masa molecular del P / Masa molecular del fertilizante) x (Tiempo)

$$\begin{aligned} \text{Fosforo (DAP)} &= (1 \text{ m}^2) \times (10 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (30.97 \text{ gmol} / 132 \text{ gmol}) \times (1 \text{ año}) \\ &= 2.35\text{E}+00 \text{ g} \end{aligned}$$

### 19 Nitrógeno (DAP)

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Cantidad de fertilizante	10	g/m <sup>2</sup> /año
Masa molecular del (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	36.08	gmol
Masa molecular del fertilizante	132	gmol
Tiempo	1	año

Nitrógeno (DAP) = (Área terrestre) x (Cantidad de fertilizante) x (Masa molecular del (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> / Masa molecular del fertilizante) x (Tiempo)

$$\begin{aligned} \text{Nitrógeno (DAP)} &= (1 \text{ m}^2) \times (10 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (36.08 \text{ gmol} / 132 \text{ gmol}) \times (1 \text{ año}) \\ &= 2.73\text{E}+00 \text{ g} \end{aligned}$$

### 21 Labor de campo no renovable

Plantación:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	12	personas

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Plantación} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E}-04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (12 \text{ personas}) \\ &= 9.60\text{E}-03 \text{ h} \end{aligned}$$

Fertilización:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	2	personas

Fertilización = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Fertilización} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E}-04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (2 \text{ personas}) \\ &= 1.60\text{E}-03 \text{ h} \end{aligned}$$

Aporque:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Aporque = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Aporque} = (1 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 7.20\text{E-}03 \text{ h}$$

Despunte:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	2.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Despunte = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Despunte} = (1 \text{ m}^2) \times (2.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 4.80\text{E-}03 \text{ h}$$

Cosecha:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-03	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	8	h/día/persona
No. De personas	12	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (1 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}03 \text{ día/m}^2) \times (8 \text{ h/día/persona}) \times (12 \text{ personas})$$

$$= 2.88\text{E-}01 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional

0.24

Fracción no renovable promedio

0.89

Modificado de NEAD, 2021

Labor de campo no renovable = (Plantación + Fertilización + Aporque + Despunte + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\text{Labor de campo no renovable} = (9.60\text{E-}03 \text{ h} + 1.60\text{E-}03 \text{ h} + 7.20\text{E-}03 \text{ h} + 4.80\text{E-}03 \text{ h} + 2.88\text{E-}01 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89)$$

$$= 9.58\text{E+}04 \text{ J}$$

## 22 Labor postcosecha no renovable

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
----------------	---	----------------

Días de trabajo	8.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	7	h/día/persona	
No. De personas	3	personas	
Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		Modificado de NEAD, 2021

Labor postcosecha no renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

Labor postcosecha no renovable = (1 m<sup>2</sup>) x (8.00E-04 día/m<sup>2</sup>) x (7 h/día/persona) x (3 personas) x (1.47E+06 J/h) x (0.24) x (0.89)

$$= 5.17E+03 \text{ J}$$

### 23 Servicio de tractor

Barbecho:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Costo de servicio	7.50E-02	MX\$/m <sup>2</sup>	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	Banco de México, 2019
Barbecho = [(Área terrestre) x (Costo de servicio)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)			
Barbecho = [(1 m <sup>2</sup> ) x (7.50E-02 MX\$/m <sup>2</sup> )] / (19.24 MX\$/US\$)			
= 3.90E-03 US\$			

Surcado:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Costo de servicio	6.75E-02	MX\$/m <sup>2</sup>	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	Banco de México, 2019
Surcado = [(Área terrestre) x (Costo de servicio)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)			
Surcado = [(1 m <sup>2</sup> ) x (6.75E-02 MX\$/m <sup>2</sup> )] / (19.24 MX\$/US\$)			
= 3.51E-03 US\$			

Rastra:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Costo de servicio	6.75E-02	MX\$/m <sup>2</sup>	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	Banco de México, 2019
Rastra = [(Área terrestre) x (Costo de servicio)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)			
Rastra = [(1 m <sup>2</sup> ) x (6.75E-02 MX\$/m <sup>2</sup> )] / (19.24 MX\$/US\$)			

$$= 3.51E-03 \text{ US\$}$$

Labor:

Área terrestre 1 m<sup>2</sup>

Costo de servicio 6.75E-02 MX\$/m<sup>2</sup>

Tipo de cambio promedio anual 2018 19.24 MX\$/US\$ Banco de México, 2019

Labor = [(Área terrestre) x (Costo de servicio)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)

Labor = [(1 m<sup>2</sup>) x (6.75E-02 MX\$/m<sup>2</sup>)] / (19.24 MX\$/US\$)

$$= 3.51E-03 \text{ US\$}$$

Servicio de tractor = (Barbecho) + (Surcado) + (Rastra) + (Labor)

Servicio de tractor = (3.90E-03 US\$) + (3.51E-03 US\$) + (3.51E-03 US\$) + (3.51E-03 US\$)

$$= 1.44E-02 \text{ US\$}$$

**Tabla C2.** Cálculo de los flujos de entrada para el cultivo de frijol en la Tabla 6.12.

### Recursos renovables locales (R)

#### 1 Luz solar

Área terrestre 1 m<sup>2</sup>

Insolación promedio 2.17E+07 J/m<sup>2</sup>/día NASA POWER

Albedo 0.13 NASA POWER

Duración del ciclo de cultivo 150 días

Proporción de la densidad de la población vegetal 0.003

Luz solar = (Área terrestre) x (Insolación promedio) x (1-Albedo) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Luz solar = (1 m<sup>2</sup>) x (2.17E+07 J/m<sup>2</sup>/día) x (1-0.13) x (150 días) (0.003)

$$= 9.15E+06 \text{ J}$$

#### 2 Energía cinética del viento

Área terrestre 1 m<sup>2</sup>

Densidad del aire 1.23 kg/m<sup>3</sup> Odum, 1996

Coeficiente de arrastre terrestre 0.002 Garratt, 1977

Velocidad del viento promedio (10 m) 2.66 m/s

Ratio de velocidad del viento de superficie y la velocidad del viento geostrófico 0.6 Reiter, 1969

Velocidad del viento geostrófico (2.66) / (0.6) m/s

Duración del ciclo de cultivo 1.30E+07 s

Proporción de la densidad de la población vegetal 0.003

Energía cinética del viento = (Área terrestre) x (Densidad del aire) x (Coeficiente de arrastre terrestre) x (Velocidad del viento geostrófico)<sup>3</sup> x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal )

Energía cinética del viento = (1 m<sup>2</sup>) x (1.23 kg/m<sup>3</sup>) x (0.002) x (4.43 m/s)<sup>3</sup> x (1.30E+07 s) x (0.003)

$$= 8.97E+03 \text{ J}$$

### 3 Energía potencial química de la lluvia

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Precipitación anual promedio	2.59E-03	m/día	NASA POWER
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	150	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía potencial química de la lluvia = (Área terrestre) x (Precipitación anual promedio) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía potencial química de la lluvia = (1 m<sup>2</sup>) x (2.59E-03 m/día) x (1.00E+06 g/m<sup>3</sup>) x (150 días) x (4.74 J/g) x (0.003)

$$= 5.95E+03 \text{ J}$$

### 4 Energía de evapotranspiración

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Evapotranspiración	1.67E-03	m/día	
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	150	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía de evapotranspiración = (Área terrestre) x (Evapotranspiración) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía de evapotranspiración = (1 m<sup>2</sup>) x (1.67E-03 m/día) x (1.00E+06 g/m<sup>3</sup>) x (150 días) x (4.74 J/g) x (0.003)

$$= 3.83E+03 \text{ J}$$

### Retroalimentaciones de refuerzo:

#### 7 Residuos de planta de frijol

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
----------------	---	----------------	--

Peso seco de la planta	2.49E-01	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Energía por gramo peso seco	15.01	MJ/kg	Asgharipour et al., 2019
Energía por gramo peso seco	1.50E+04	J/g	

Residuos de planta de frijol = (Área terrestre) x (Peso seco de la planta) x (Tiempo) x (Energía por gramo peso seco)

$$\begin{aligned} \text{Residuos de planta de frijol} &= (1 \text{ m}^2) \times (2.49\text{E-}01 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (1.50\text{E+}04 \text{ J/g}) \\ &= 3.74\text{E+}03 \text{ J} \end{aligned}$$

## 9 Semilla de frijol

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	0.75	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Fracción de humedad promedio	0.12		
Energía por gramo peso húmedo	3.33	Kcal/g	INCAP and OPS, 2012
Energía por gramo peso seco	1.58E+04	J/g	

Semilla de frijol = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (Tiempo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)

$$\begin{aligned} \text{Semilla de frijol} &= (1 \text{ m}^2) \times (0.75 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (1-0.12) \times (1.58\text{E+}04 \text{ J/g}) \\ &= 1.04\text{E+}04 \text{ J} \end{aligned}$$

## 12 Labor de campo renovable

Plantación:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	2.60E-02	h/día/persona	
No. De personas	3	personas	

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Plantación} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (2.60\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 7.80\text{E-}06 \text{ h} \end{aligned}$$

Cosecha:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo	3.00E-03	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	2.60E-02	h/día/persona	
No. De personas	3	personas	

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (1 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}03 \text{ day/m}^2) \times (2.60\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 2.34\text{E-}04 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor de campo renovable = (Plantación + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x {1- [(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

$$\text{Labor de campo renovable} = (7.80\text{E-}06 \text{ h} + 2.34\text{E-}04 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times \{1 - [(0.24) \times (0.89)]\}$$

$$= 2.80\text{E+}02 \text{ J}$$

### 13 Labor postcosecha renovable

Área terrestre 1 m<sup>2</sup>

Días de trabajo 1.00E-04 día/m<sup>2</sup>

Horas de trabajo por día por persona 5.00E-01 h/día/persona

No. De personas 1 persona

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor postcosecha renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

$$\text{Labor postcosecha renovable} = (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (5.00\text{E-}01 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ persona}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times \{1 - [(0.24) \times (0.89)]\}$$

$$= 5.79\text{E+}01 \text{ J}$$

### Recursos no renovables locales (N)

#### 14 Pérdida neta de la capa superficial del suelo

Área terrestre 1 m<sup>2</sup>

Fracción de materia orgánica 0.019

Erosión del suelo anual total 5.00E-01 kg/m<sup>2</sup>/año

Energía de la materia orgánica 2.26E+07 J/kg Houshyar et al., 2018

Tiempo 1 año

Proporción de la densidad de la población vegetal 0.003

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (Área terrestre) x (Fracción de materia orgánica) x (Erosión del suelo anual total) x (Energía de la materia orgánica) x (Tiempo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\begin{aligned} \text{Pérdida neta de la capa superficial del suelo} &= (1 \text{ m}^2) \times (0.019) \times (5.00\text{E-}01 \text{ kg/m}^2/\text{año}) \times \\ &(2.26\text{E+}07 \text{ J/kg}) \times (1 \text{ año}) \times (0.003) \\ &= 6.86\text{E+}02 \text{ J} \end{aligned}$$

## Recursos adquiridos (F)

### 16 Combustible líquido para motor

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Volumen de combustible	1.59E-05	L/m <sup>2</sup>	
Energía del combustible	1.32E+08	J/gal	Brandt-Williams, 2002
Energía del combustible	3.49E+07	J/L	

Combustible líquido para motor = (Área terrestre) x (Volumen de combustible) x (Energía del combustible)

$$\begin{aligned} \text{Combustible líquido para motor} &= (1 \text{ m}^2) \times (2.11\text{E-}05 \text{ L/m}^2) \times (3.49\text{E+}07 \text{ J/L}) \\ &= 5.54\text{E+}02 \text{ J} \end{aligned}$$

### 21 Labor de campo no renovable

Plantación:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.60E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Plantación} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (2.60\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 7.80\text{E-}06 \text{ h} \end{aligned}$$

Cosecha:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-03	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.60E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (1 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}03 \text{ day/m}^2) \times (2.60\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

	=	2.34E-04 h		
Energía utilizada por hora		3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora		1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional		0.24		
Fracción no renovable promedio		0.89		Modificado de NEAD, 2021

Labor de campo no renovable = (Plantación + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\text{Labor de campo no renovable} = (7.80\text{E-}06 \text{ h} + 2.34\text{E-}04 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89)$$

$$= 7.44\text{E+}01 \text{ J}$$

## 22 Labor postcosecha no renovable

Área terrestre		1	m <sup>2</sup>	
Días de trabajo		1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona		5.00E-01	h/día/persona	
No. De personas		1	persona	
Energía utilizada por hora		3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora		1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional		0.24		
Fracción no renovable promedio		0.89		Modificado de NEAD, 2021

Labor postcosecha no renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\text{Labor postcosecha no renovable} = (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (5.00\text{E-}01 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ persona}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89)$$

$$= 1.54\text{E+}01 \text{ J}$$

**Tabla C3.** Cálculo de los flujos de entrada para el cultivo de calabaza en la Tabla 6.12.

## Recursos renovables locales (R)

### 1 Luz solar

Área terrestre		1	m <sup>2</sup>	
Insolación promedio		2.17E+07	J/m <sup>2</sup> /día	NASA POWER

Albedo	0.13		NASA POWER
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Luz solar = (Área terrestre) x (Insolación promedio) x (1-Albedo) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\text{Luz solar} = (1 \text{ m}^2) \times (2.17\text{E}+07 \text{ J/m}^2/\text{día}) \times (1-0.13) \times (180 \text{ días}) \times (0.003) \\ = 1.16\text{E}+07 \text{ J}$$

## 2 Energía cinética del viento

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Densidad del aire	1.23	kg/m <sup>3</sup>	Odum, 1996
Coefficiente de arrastre terrestre	0.002		Garratt, 1977
Velocidad del viento promedio (10 m)	2.66	m/s	NASA POWER
Ratio de velocidad del viento de superficie y la velocidad del viento geostrófico	0.6		Reiter, 1969
Velocidad del viento geostrófico	(2.66) / (0.6)	m/s	
Duración del ciclo de cultivo	1.56E+07	s	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía cinética del viento = (Área terrestre) x (Densidad del aire) x (Coeficiente de arrastre terrestre) x (Velocidad del viento geostrófico)<sup>3</sup> x (Duración del ciclo de cultivo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

$$\text{Energía cinética del viento} = (1 \text{ m}^2) \times (1.23 \text{ kg/m}^3) \times (0.002) \times (4.43 \text{ m/s})^3 \times (1.56\text{E}+07 \text{ s}) \times (0.003) \\ = 1.13\text{E}+04 \text{ J}$$

## 3 Energía potencial química de la lluvia

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Precipitación anual promedio	2.59E-03	m/día	NASA POWER
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía potencial química de la lluvia = (Área terrestre) x (Precipitación anual promedio) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía potencial química de la lluvia =  $(1 \text{ m}^2) \times (2.59\text{E-}03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E+}06 \text{ g/m}^3) \times (180 \text{ días}) \times (4.74 \text{ J/g}) \times (0.003)$

$$= 7.52\text{E+}03 \text{ J}$$

#### 4 Energía de evapotranspiración

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Evapotranspiración	1.67E-03	m/día	
Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
Duración del ciclo de cultivo	180	días	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Energía de evapotranspiración = (Área terrestre) x (Evapotranspiración) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Energía de evapotranspiración =  $(1 \text{ m}^2) \times (1.67\text{E-}03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E+}06 \text{ g/m}^3) \times (180 \text{ días}) \times (4.74 \text{ J/g}) \times (0.003)$

$$= 4.83\text{E+}03 \text{ J}$$

#### Retroalimentaciones de refuerzo:

#### 5 Residuos de planta de calabaza

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Peso seco de la planta	2.91E+01	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Energía por gramo peso húmedo	0.19	Kcal/g	INCAP and OPS, 2012
Energía por gramo peso seco	1.12E+04	J/g	

Residuos de planta de calabaza = (Área terrestre) x (Peso seco de la planta) x (Tiempo) x (Energía por gramo peso seco)

Residuos de planta de calabaza =  $(1 \text{ m}^2) \times (2.91\text{E+}01 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (1.12\text{E+}04 \text{ J/g})$

$$= 3.25\text{E+}05 \text{ J}$$

#### 10 Semilla de calabaza

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Peso húmedo	0.15	g/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Fracción de humedad promedio	0.07		INCAP and OPS, 2012
Energía por gramo peso húmedo	5.41	Kcal/g	INCAP and OPS, 2012
Energía por gramo peso seco	2.43E+04	J/g	

Semilla de calabaza = (Área terrestre) x (Peso húmedo) x (Tiempo) x (1-Fracción de humedad promedio) x (Energía por gramo peso seco)

$$\begin{aligned} \text{Semilla de calabaza} &= (1 \text{ m}^2) \times (0.15 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (1-0.07) \times (2.43\text{E}+04 \text{ J/g}) \\ &= 3.40\text{E}+03 \text{ J} \end{aligned}$$

## 12 Labor de campo renovable

Plantación:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.74E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Plantación} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E}-04 \text{ día/m}^2) \times (2.74\text{E}-02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 8.22\text{E}-06 \text{ h} \end{aligned}$$

Cosecha:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-03	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.74E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\begin{aligned} \text{Cosecha} &= (1 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E}-03 \text{ día/m}^2) \times (2.74\text{E}-02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas}) \\ &= 2.47\text{E}-04 \text{ h} \end{aligned}$$

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor de campo renovable = (Plantación + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x {1- [(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

$$\begin{aligned} \text{Labor de campo renovable} &= (8.22\text{E}-06 \text{ h} + 2.47\text{E}-04 \text{ h}) \times (1.47\text{E}+06 \text{ J/h}) \times \{1-[(0.24) \times (0.89)]\} \\ &= 2.95\text{E}+02 \text{ J} \end{aligned}$$

## 13 Labor postcosecha renovable

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
----------------	---	----------------

Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	5.00E-01	h/día/persona	
No. De personas	1	persona	
Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		Modificado de NEAD, 2021

Labor postcosecha renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

Labor postcosecha renovable = (1 m<sup>2</sup>) x (1.00E-04 día/m<sup>2</sup>) x (5.00E-01 h/día/persona) x (1 persona) x (1.47E+06 J/h) x {1-[(0.24) x (0.89)]}

$$= 5.79E+01 \text{ J}$$

#### Recursos no renovables locales (N)

##### 14 Pérdida neta de la capa superficial del suelo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Fracción de materia orgánica	0.019		
Erosión del suelo anual total	5.00E-01	kg/m <sup>2</sup> /año	
Energía de la materia orgánica	2.26E+07	J/kg	Houshyar et al., 2018
Tiempo	1	año	
Proporción de la densidad de la población vegetal	0.003		

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (Área terrestre) x (Fracción de materia orgánica) x (Erosión del suelo anual total) x (Energía de la materia orgánica) x (Tiempo) x (Proporción de la densidad de la población vegetal)

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (1 m<sup>2</sup>) x (0.019) x (5.00E-01 kg/m<sup>2</sup>/año) x (2.26E+07 J/kg) x (1 año) x (0.003)

$$= 7.23E+02 \text{ J}$$

#### Recursos adquiridos (F)

##### 16 Combustible líquido para motor

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Volumen de combustible	1.59E-05	L/m <sup>2</sup>	
Energía del combustible	1.32E+08	J/gal	Brandt-Williams, 2002
Energía del combustible	3.49E+07	J/L	

Combustible líquido para motor = (Área terrestre) x (Volumen de combustible) x (Energía del combustible)

$$\text{Combustible líquido para motor} = (1 \text{ m}^2) \times (1.59\text{E-}05 \text{ L/m}^2) \times (3.49\text{E+}07 \text{ J/L})$$

$$= 5.54\text{E+}02 \text{ J}$$

## 21 Labor de campo no renovable

Plantación:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.74E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Plantación = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Plantación} = (1 \text{ m}^2) \times (1.00\text{E-}04 \text{ día/m}^2) \times (2.74\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 8.22\text{E-}06 \text{ h}$$

Cosecha:

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo	3.00E-03	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2.74E-02	h/día/persona
No. De personas	3	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (1 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}03 \text{ día/m}^2) \times (2.74\text{E-}02 \text{ h/día/persona}) \times (3 \text{ personas})$$

$$= 2.47\text{E-}04 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor de campo no renovable = (Plantación + Cosecha) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\text{Labor de campo no renovable} = (8.22\text{E-}06 \text{ h} + 2.47\text{E-}04 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89)$$

$$= 7.84\text{E+}01 \text{ J}$$

## 22 Labor postcosecha no renovable

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
----------------	---	----------------

Días de trabajo	1.00E-04	día/m <sup>2</sup>	
Horas de trabajo por día por persona	5.00E-01	h/día/persona	
No. De personas	1	persona	
Energía utilizada por hora	3.50E+02	Kcal/h	Guillen-Trujillo, 1998
Energía utilizada por hora	1.47E+06	J/h	
Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional	0.24		
Fracción no renovable promedio	0.89		Modificado de NEAD, 2021

Labor postcosecha no renovable = (Área terrestre) x (Días de trabajo) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la milpa y en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

Labor postcosecha no renovable = (1 m<sup>2</sup>) x (1.00E-04 día/m<sup>2</sup>) x (5.00E-01 h/día/persona) x (1 persona) x (1.47E+06 J/h) x (0.24) x (0.89)

$$= 1.54E+01 \text{ J}$$

**Tabla C4.** Cálculo de los flujos de entrada para el cultivo de jitomate en la Tabla 6.12.

### Recursos renovables locales (R)

#### 1 Luz solar

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Insolación promedio	2.17E+07	J/m <sup>2</sup> /día	NASA POWER
Albedo	0.13		NASA POWER
Duración del ciclo de cultivo	365	días	
Fracción de la transmisión de luz del plástico de la cubierta	0.9		

Luz solar = (Área terrestre) x (Insolación promedio) x (1-Albedo) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Fracción de la transmisión de luz del plástico de la cubierta)

Luz solar = (1 m<sup>2</sup>) x (2.17E+07 J/m<sup>2</sup>/día) x (1-0.13) x (365 días) x (0.9)

$$= 6.20E+09 \text{ J}$$

#### 2 Energía cinética del viento

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Densidad del aire	1.23	kg/m <sup>3</sup>	Odum, 1996
Coefficiente de arrastre terrestre	0.002		Garratt, 1977
Velocidad del viento promedio (10 m)	2.66	m/s	NASA POWER

Ratio de velocidad del viento de superficie y la velocidad del viento geostrófico	0.6		Reiter, 1969
-----------------------------------------------------------------------------------	-----	--	--------------

Velocidad del viento geostrófico	(2.66) / (0.6)	m/s	
----------------------------------	----------------	-----	--

Duración del ciclo de cultivo	3.15E+07	s	
-------------------------------	----------	---	--

Energía cinética del viento = (Área terrestre) x (Densidad del aire) x (Coeficiente de arrastre terrestre) x (Velocidad del viento geostrófico)<sup>3</sup> x (Duración del ciclo de cultivo)

$$\text{Energía cinética del viento} = (1 \text{ m}^2) \times (1.23 \text{ kg/m}^3) \times (0.002) \times (4.43 \text{ m/s})^3 \times (3.15\text{E}+07 \text{ s})$$

$$= 6.76\text{E}+06 \text{ J}$$

### 3 Energía potencial química de la lluvia (recolección)

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
----------------	---	----------------	--

Cantidad anual de agua de lluvia captada	3.95E+02	L/m <sup>2</sup> /año	
------------------------------------------	----------	-----------------------	--

Densidad del agua	1.00E+03	g/L	
-------------------	----------	-----	--

Duración del ciclo de cultivo	1	año	
-------------------------------	---	-----	--

Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
------------------------	------	-----	----------------

Energía potencial química de la lluvia (recolección) = (Área terrestre) x (Cantidad anual de agua de lluvia captada) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs)

$$\text{Energía potencial química de la lluvia (recolección)} = (1 \text{ m}^2) \times (3.95\text{E}+02 \text{ L/m}^2/\text{año}) \times (1.00\text{E}+03 \text{ g/L}) \times (1 \text{ año}) \times (4.74 \text{ J/g})$$

$$= 1.87\text{E}+06 \text{ J}$$

### 4 Energía de evapotranspiración

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
----------------	---	----------------	--

Evapotranspiración	1.74E-03	m/día	
--------------------	----------	-------	--

Densidad del agua	1.00E+06	g/m <sup>3</sup>	
-------------------	----------	------------------	--

Duración del ciclo de cultivo	365	días	
-------------------------------	-----	------	--

Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003
------------------------	------	-----	----------------

Energía de evapotranspiración = (Área terrestre) x (Evapotranspiración) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs)

$$\text{Energía de evapotranspiración} = (1 \text{ m}^2) \times (1.74\text{E}-03 \text{ m/día}) \times (1.00\text{E}+06 \text{ g/m}^3) \times (365 \text{ días}) \times (4.74 \text{ J/g})$$

$$= 3.01\text{E}+06 \text{ J}$$

### Retroalimentaciones de refuerzo:

#### 11 Labor renovable

Preparación del suelo y trasplante

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
----------------	---	----------------	--

Días de trabajo por m <sup>2</sup>	3.00E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2	h/día/persona
No. De personas	5	personas

Preparación del suelo y trasplante = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Preparación del suelo y trasplante} = (1 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}02 \text{ día/m}^2) \times (2 \text{ h/día/persona}) \times (5 \text{ personas})$$

$$= 3.00\text{E-}01 \text{ h}$$

#### Abonado

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	3.00E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Abonado = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Abonado} = (1 \text{ m}^2) \times (3.00\text{E-}02 \text{ día/m}^2) \times (0.5 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 1.50\text{E-}02 \text{ h}$$

#### Cosecha

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	2.10E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Cosecha} = (1 \text{ m}^2) \times (2.10\text{E-}01 \text{ día/m}^2) \times (2 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 4.20\text{E-}01 \text{ h}$$

#### Control de plagas y enfermedades

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	4.80E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Control de plagas y enfermedades = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

$$\text{Control de plagas y enfermedades} = (1 \text{ m}^2) \times (4.80\text{E-}01 \text{ día/m}^2) \times (0.5 \text{ h/día/persona}) \times (1 \text{ personas})$$

$$= 2.40\text{E-}01 \text{ h}$$

#### Podas formativas y deshierbe

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	1.35E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Podas formativas y deshierbe = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Podas formativas y deshierbe = (1 m<sup>2</sup>) x (1.35E-01 día/m<sup>2</sup>) x (0.5 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 6.75E-02 \text{ h}$$

Tutoreo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	4.80E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	1	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Tutoreo = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Tutoreo = (1 m<sup>2</sup>) x (4.80E-01 día/m<sup>2</sup>) x (1 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 4.80E-01 \text{ h}$$

Amarre para tutoreo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	3.00E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	4	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Amarre para tutoreo = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Amarre para tutoreo = (1 m<sup>2</sup>) x (3.00E-02 día/m<sup>2</sup>) x (4 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 1.20E-01 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor renovable = (Preparación del suelo y trasplante + Abonado + Cosecha + Control de plagas y enfermedades + Podas formativas y deshierbe + Tutoreo + Amarre para tutoreo) x (Energía utilizada por hora) x {1-[(Fracción de personas que trabajan en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)]}

$$\begin{aligned} \text{Labor renovable} &= (3.00\text{E-}01 \text{ h} + 1.50\text{E-}02 \text{ h} + 4.20\text{E-}01 \text{ h} + 2.40\text{E-}01 \text{ h} + 6.75\text{E-}02 \text{ h} + \\ &4.80\text{E-}01 \text{ h} + 1.20\text{E-}01 \text{ h}) \times (1.47\text{E+}06 \text{ J/h}) \times \{1 - [(0.24) \times (0.89)]\} \\ &= 1.90\text{E+}06 \text{ J} \end{aligned}$$

## Recursos no renovables locales (N)

### 14 Pérdida neta de la capa superficial del suelo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Fracción de materia orgánica	0.0484		
Erosión del suelo anual total	0.00E+00	kg/m <sup>2</sup> /año	
Energía de la materia orgánica	2.26E+07	J/kg	Houshyar et al., 2018
Time	1	año	

Pérdida neta de la capa superficial del suelo = (Área terrestre) x (Fracción de materia orgánica) x (Erosión del suelo anual total) x (Energía de la materia orgánica) x (Tiempo)

$$\begin{aligned} \text{Pérdida neta de la capa superficial del suelo} &= (1 \text{ m}^2) \times (0.0484) \times (0.00\text{E+}00 \text{ kg/m}^2/\text{año}) \times \\ &(2.26\text{E+}07 \text{ J/kg}) \times (1 \text{ año}) \\ &= 0.00\text{E+}00 \text{ J} \end{aligned}$$

### 15 Agua subterránea

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Cantidad anual de agua utilizada	1.06E+03	L/m <sup>2</sup> /año	
Densidad del agua	1.00E+03	g/L	
Duración del ciclo de cultivo	1	año	
Energía libre de Gibbs	4.74	J/g	Campbell, 2003

Agua subterránea = (Área terrestre) x (Cantidad anual de agua utilizada) x (Densidad del agua) x (Duración del ciclo de cultivo) x (Energía libre de Gibbs)

$$\begin{aligned} \text{Agua subterránea} &= (1 \text{ m}^2) \times (1.06\text{E+}03 \text{ L/m}^2/\text{año}) \times (1.00\text{E+}03 \text{ g/L}) \times (1 \text{ año}) \times (4.74 \text{ J/g}) \\ &= 5.02\text{E+}06 \text{ J} \end{aligned}$$

## Recursos adquiridos (F)

### 16 Combustible líquido para motor

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Volumen de combustible	2.45E-01	L/m <sup>2</sup>	
Energía del combustible	1.32E+08	J/gal	Brandt-Williams, 2002
Energía del combustible	3.49E+07	J/L	

Combustible líquido para motor = (Área terrestre) x (Volumen de combustible) x (Energía del combustible)

$$\begin{aligned} \text{Combustible líquido para motor} &= (1 \text{ m}^2) \times (2.45\text{E-}01 \text{ L/m}^2) \times (3.49\text{E+}07 \text{ J/L}) \\ &= 8.55\text{E+}06 \text{ J} \end{aligned}$$

### 20 Labor no renovable

#### Preparación del suelo y trasplante

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	3.00E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2	h/día/persona
No. De personas	5	personas

Preparación del suelo y trasplante = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Preparación del suelo y trasplante = (1 m<sup>2</sup>) x (3.00E-02 día/m<sup>2</sup>) x (2 h/día/persona) x (5 personas)

$$= 3.00E-01 \text{ h}$$

#### Abonado

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	3.00E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Abonado = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Abonado = (1 m<sup>2</sup>) x (3.00E-02 día/m<sup>2</sup>) x (0.5 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 1.50E-02 \text{ h}$$

#### Cosecha

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	2.10E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	2	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Cosecha = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Cosecha = (1 m<sup>2</sup>) x (2.10E-01 día/m<sup>2</sup>) x (2 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 4.20E-01 \text{ h}$$

#### Control de plagas y enfermedades

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	4.80E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Control de plagas y enfermedades = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Control de plagas y enfermedades = (1 m<sup>2</sup>) x (4.80E-01 día/m<sup>2</sup>) x (0.5 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 2.40E-01 \text{ h}$$

Podas formativas y deshierbe

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	1.35E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	0.5	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Podas formativas y deshierbe = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Podas formativas y deshierbe = (1 m<sup>2</sup>) x (1.35E-01 día/m<sup>2</sup>) x (0.5 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 6.75E-02 \text{ h}$$

Tutoreo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	4.80E-01	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	1	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Tutoreo = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Tutoreo = (1 m<sup>2</sup>) x (4.80E-01 día/m<sup>2</sup>) x (1 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 4.80E-01 \text{ h}$$

Amarre para tutoreo

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>
Días de trabajo por m <sup>2</sup>	3.00E-02	día/m <sup>2</sup>
Horas de trabajo por día por persona	4	h/día/persona
No. De personas	1	personas

Amarre para tutoreo = (Área terrestre) x (Días de trabajo por m<sup>2</sup>) x (Horas de trabajo por día por persona) x (No. De personas)

Amarre para tutoreo = (1 m<sup>2</sup>) x (3.00E-02 día/m<sup>2</sup>) x (4 h/día/persona) x (1 personas)

$$= 1.20E-01 \text{ h}$$

Energía utilizada por hora 3.50E+02 Kcal/h Guillen-Trujillo, 1998

Energía utilizada por hora 1.47E+06 J/h

Fracción de personas que trabajan en la economía regional 0.24

Fracción no renovable promedio 0.89 Modificado de NEAD, 2021

Labor no renovable = (Preparación del suelo y trasplante + Abonado + Cosecha + Control de plagas y enfermedades + Podas formativas y deshierbe + Tutorio + Amarre para tutorio) x (Energía utilizada por hora) x (Fracción de personas que trabajan en la economía regional) x (Fracción no renovable promedio)

$$\begin{aligned} \text{Labor no renovable} &= (3.00\text{E-}01 \text{ h} + 1.50\text{E-}02 \text{ h} + 4.20\text{E-}01 \text{ h} + 2.40\text{E-}01 \text{ h} + 6.75\text{E-}02 \text{ h} + \\ &4.80\text{E-}01 \text{ h} + 1.20\text{E-}01 \text{ h}) \times (1.47\text{E}+06 \text{ J/h}) \times (0.24) \times (0.89) \\ &= 5.05\text{E}+05 \text{ J} \end{aligned}$$

## 24 Plántula

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Cantidad anual de plántulas	15.06	plánt/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Costo de la plántula	2.44	MX\$/plánt	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	Banco de México, 2019

Plántula = [(Área terrestre) x (Cantidad anual de plántula) x (Tiempo) x (Costo de la plántula)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)

$$\begin{aligned} \text{Plántula} &= [(1 \text{ m}^2) \times (15.06 \text{ plánt/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año}) \times (2.44 \text{ MX\$/plánt})] / (19.24 \text{ MX\$/US\$}) \\ &= 1.91\text{E}+00 \text{ US\$} \end{aligned}$$

## 25 Estiércol de cabra

Área terrestre	1	m <sup>2</sup>	
Costo anual del estiércol	5	MX\$/m <sup>2</sup> /año	
Tiempo	1	año	
Tipo de cambio promedio anual 2018	19.24	MX\$/US\$	Banco de México, 2019

Estiércol de cabra = [(Área terrestre) x (Costo anual del estiércol) x (Tiempo)] / (Tipo de cambio promedio anual 2018)

$$\begin{aligned} \text{Estiércol de cabra} &= [(1 \text{ m}^2) \times (5 \text{ MX\$/m}^2/\text{año}) \times (1 \text{ año})] / (19.24 \text{ MX\$/US\$}) \\ &= 2.60\text{E-}01 \text{ US\$} \end{aligned}$$

## Referencias

- Ali-Toudert, F. and Ji, L. (2017) 'Modeling and measuring urban sustainability in multi-criteria based systems — A challenging issue', *Ecological Indicators*, 73, pp. 597–611. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.09.046.
- Allen, R. G. et al. (2006) *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Food and Agriculture Organization: Roma, Italia; p 298. Available at: [www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm](http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm).
- Arrazola-Guendulay, A. A., Hernández-Santiago, E. and Rodríguez-Ortiz, G. (2018)

- 'Conocimiento tradicional de plantas silvestres en una comunidad de los valles centrales de Oaxaca', *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(1), pp. 55–78.
- Asgharipour, M. R. *et al.* (2019) 'Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses', *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2), pp. 1-21. doi: 10.1007/s10661-018-7123-3.
- Asgharipour, M. R., Amiri, Z. and Campbell, D. E. (2020) 'Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics"', *Ecological Modelling*, 424, p. 109021. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109021.
- Azcón-Bieto, J. and Talón, M. (2013) *Fundamentos de fisiología vegetal*. Segunda edición. McGRAW-HILL - INTERAMERICANA: Barcelona España.
- BANXICO (2019) *Mercados. Portal del mercado cambiario*. Banco de México. Available at: <https://www.banxico.org.mx/>.
- Bänziger, M. *et al.* (2012) *Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: de la teoría a la práctica*. CIMMYT: México.
- Birol, E., Villalba, E. R. and Smale, M. (2007) 'Farmer preferences for milpa diversity and genetically modified maize in Mexico: A latent class approach', *International food policy research institute*, 14, pp. 521–540. doi: 10.1017/S1355770X08004944.
- Bolaños, J. and Edmeades, G. O. (1990) 'La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical', *Agronomía Mesoamericana*, 1, pp. 45–50. doi: 10.15517/am.v1i0.25324.
- Brandt-Williams, S. L. (1999) *Evaluation of Watershed Control of Two Central Florida Lakes: Newnans Lake and Lake Weir*. Ph.D.Thesis, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Brandt-Williams, S. L. (2002) 'Emergy of Florida Agriculture', *Handbook of Emery Evaluation: A Compendium of Data for Emery Computation Issued in a Series of Folios*, Folio 4. Gainesville, FL USA: The Center for Environmental Policy, University of Florida, pp. 1-16.
- Broderick, C. B. (1993) *Understanding Family Process: Basics of Family Systems Theory*. Sage Publications, University of Southern California: Los Angeles CA, USA.
- Brown, M. T. *et al.* (2000) 'Emergy synthesis: An Introduction', In *Emergy Synthesis 1:*

Theory and Applications of the Emergy Methodology, Proceedings of the 1st Biennial Emergy Research Conference, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 2–4 September 1999; Brown, M.T., Ed.; University of Florida: Gainesville, FL, USA; Abstract Number 1; pp. 1–14.

- Brown, M. T. *et al.* (2016) 'The geobiosphere emergy baseline: A synthesis', *Ecological Modelling*, 339, pp. 92–95. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.03.018.
- Brown, M. T. and Herendeen, R. A. (1996) 'Embodied energy analysis and EMERGY analysis: A comparative view', *Ecological Economics*, 19(3), pp. 219–235. doi: 10.1016/S0921-8009(96)00046-8.
- Brown, M. T. and McClanahan, T. R. (1996) 'EMergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals', *Ecological Modelling*, 91, pp. 105–130. doi: 10.1016/0304-3800(95)00183-2.
- Brown, M. T., Odum, H. T. and Jorgensen, S. E. (2004) 'Energy hierarchy and transformity in the universe', *Ecological Modelling*, 178, pp. 17–28. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2003.12.002.
- Brown, M. T. and Ulgiati, S. (1997) 'Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation', *Ecological Engineering*, 9, pp. 51–69. doi: 10.1016/S0925-8574(97)00033-5.
- Brown, M. T. and Ulgiati, S. (2004a) 'Emergy Analysis and Environmental Accounting', *Encyclopedia of Energy*, 2, pp. 329–354. doi: 10.1016/b0-12-176480-x/00242-4.
- Brown, M. T. and Ulgiati, S. (2004b) 'Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems', *Ecological Modelling*, 178, pp. 201–213. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002.
- Brown, M. T. and Ulgiati, S. (2010) 'Updated evaluation of exergy and emergy driving the geobiosphere: A review and refinement of the emergy baseline', *Ecological Modelling*, 221, pp. 2501–2508. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.06.027.
- Brown, M. T. and Ulgiati, S. (2016) 'Emergy assessment of global renewable sources', *Ecological Modelling*, 339, pp. 148–156. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.03.010.
- Buonocore, E. *et al.* (2015) 'Integrating life cycle assessment and emergy synthesis for the evaluation of a dry steam geothermal power plant in Italy', *Energy*, 86, pp. 476–487.

doi: 10.1016/j.energy.2015.04.048.

Cabrera, G. (2019) 'Vitamin A deficiency' *Cinahl Information Systems*: Terrace Glendale CA, USA.

Campbell, D. E. (2000) 'A Revised Solar Transformity for Tidal Energy Received by the Earth and Dissipated Globally: Implications for Emergy Analysis', In *Emergy Synthesis 1: Theory and Applications of the Emergy Methodology*, Proceedings of the 1st Biennial Emergy Research Conference, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 2–4 September 1999; Brown, M.T., Ed.; University of Florida: Gainesville, FL, USA; Abstract Number 21; pp. 255–263.

Campbell, D. E. (2001) 'Proposal for including what is valuable to ecosystems in environmental assessments', *Environmental Science and Technology*, 35, pp. 2867–2873. doi: 10.1021/es001818n.

Campbell, D. E. (2003) 'A Note on the Uncertainty in Estimates of Transformities Based on Global Water Budgets', In *Emergy Synthesis 2: Theory and Applications of the Emergy Methodology*, Proceedings of the 2nd Biennial Emergy Research Conference, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 20–22 September 2001; Brown, M.T., Odum, H.T., Tilley, D., Ulgiati, S., Eds.; University of Florida: Gainesville, FL, USA; Abstract Number 25; pp. 349–353.

Campbell, D. E. (2005) 'EMERGY ANALYSIS OF THE COBSCOOK BAY ECOSYSTEM', In *The Changing Bay of Fundy: Beyond 400 Years*, Proceedings of the 6th Bay of Fundy Workshop, Cornwallis, NS, Canada, 29 September 2004; Percy, J.A., Evans, A.J., Wells, P.G., Rolston, S.J., Eds.; The Bay of Fundy Ecosystem Partnership: Dartmouth, NS, Canada; pp. 374–386. doi: 10.1656/1092-6194(2004)11[355:eaeaot]2.0.co;2.

Campbell, D. E. (2016) 'Emergy baseline for the Earth: A historical review of the science and a new calculation', *Ecological Modelling*, 339, pp. 96–125. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2015.12.010.

Campbell, D. E., Bastianoni, S. and Hongfang, L. (2010) 'The emergy baseline for the earth: Is it arbitrary?', In *Proceedings of the 6th Biennial Emergy Research Conference*, Gainesville, FL, USA, 14–16 January 2010; Center for Environmental Policy, University of Florida: Gainesville, FL, USA.

- Campbell, D. E., Brandt-Williams, S. L. and Cai, T. (2005) 'Current Technical Problems in Emergy Analysis', In Emergy Synthesis 3: Theory and Applications of the Emergy Methodology, Proceedings of the 3rd Biennial Emergy Research Conference, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 29–31 January 2004; Brown, M.T., Bardi, E., Campbell, D.E., Comar, V., Huang, S., Rydberg, T., Tilley, D., Ulgiati, S., Eds.; University of Florida: Gainesville, FL, USA, 2005; Abstract Number 10; pp. 143–157.
- Campbell, D. E. and Erban, L. E. (2017) 'A Reexamination of the Emergy Input to a System from the Wind', In Emergy Synthesis 9: Theory and Applications of the Emergy Methodology, Proceedings of the 9th Biennial Emergy Research Conference, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 7–9 January 2016; Brown, M.T., Sweeney, S., Campbell, D.E., Huang, S., Rydberg, T., Ulgiati, S., Eds.; University of Florida: Gainesville, FL, USA, 2017; Abstract Number 7; pp. 13–20.
- Campbell, D. E., Wigand, C. and Schuetz, N. B. (2015) 'The Real Wealth Purchased in a Fish Dinner', In Emergy Synthesis 8: Theory and Applications of the Emergy Methodology, Proceedings of the 8th Biennial Emergy Research Conference, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 16–18 January 2014; Brown, M.T., Sweeney, S., Campbell, D.E., Huang, S., Rydberg, T., Ulgiati, S., Eds.; University of Florida: Gainesville, FL, USA, 2015; Abstract Number 9; pp. 61–82.
- Campbell, D. and Lu, H. (2014) 'Emergy Evaluation of Formal Education in the United States: 1870 to 2011', *Systems*, 2, pp. 328–365. doi: 10.3390/systems2030328.
- Casas, A., Blancas, J. and Lira, R. (2016) 'Mexican Ethnobotany: Interactions of People and Plants in Mesoamerica'. In Ethnobotany of Mexico; Lira, R., Casa, A., Blancas J., Eds.; Springer Science+Business Media: New York, USA; p. 560. doi: 10.1007/978-1-4614-6669-7\_1.
- CEDRSSA (2014) *Elementos para la definición de la Agricultura Familiar*. Available at: <http://www.cedrssa.gob.mx/>.
- Chávez, A. and Ledesma, J. A. (1997) '*Recomendaciones de nutrimentos para México*'. Available at: <http://www.nutripac.com.mx/software/rec-mex.pdf>
- Chen, W. *et al.* (2017) 'Recent progress on emergy research: A bibliometric analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, pp. 1051–1060. doi:

10.1016/j.rser.2017.02.041.

- Chí-Sánchez, F. A. *et al.* (2020) 'CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y DETERMINACIÓN DE MINERALES POR  $\mu$ -XRF EN FRUTO DE CALABAZA (*Cucurbita moschata* DUCH)', *Agrociencia*, 54, pp. 683–690. doi: 10.47163/agrociencia.v54i5.2125.
- Ciampitti, I. (2014) *Espigas Anormales en Maíz*. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service: Manhattan KS, USA. Available at: <https://www.agronomy.k-state.edu/>.
- Cilia-López, V. G., Aradillas, C. and Díaz-barriga, F. (2015) 'Las plantas comestibles de una comunidad indígena de la Huasteca Potosina, San Luis Potosí', *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 3(7), pp. 143–152. doi: 10.21933/j.edsc.2015.07.144.
- CIMMYT (2012) *Manual de determinación de rendimiento*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo: Distrito Federal, México.
- Collins, L. *et al.* (2012) *The modern family business: Relationships, succession and transition*. Palgrave Macmillan. doi: 10.1057/9781137001337.
- CONAPO (2012) *Índice De Marginación Por Localidad 2010*, *Secretaría de Gobernación*. Available at: [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\\_de\\_Marginacion\\_por\\_Localidad\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010).
- CONAPO (2016) *Datos abiertos del índice de marginación. Índice de marginación por municipio 1990-2015, México*. Available at: [http://conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos\\_Abiertos\\_del\\_Indice\\_de\\_Marginacion](http://conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion).
- CONEVAL (2012) *Construcción de las Líneas de Bienestar: Documento Metodológico*. Primera edición. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social: Distrito Federal, México.
- CONEVAL (2017) *Medición de la pobreza. Pobreza a nivel de municipio 2010-2015, México*. Available at: [www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipal.aspx](http://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipal.aspx).
- CONEVAL (2019a) *¿Qué funciona y qué no en seguridad alimentaria? Guías prácticas de políticas públicas*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo

Social: Ciudad de México.

CONEVAL (2019b) *Metodología para de medición multidimensional de la pobreza en México*. Tercera edición. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social: Ciudad de México.

CONEVAL (2021) *Medición de la pobreza. Pobreza en México*. Available at: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza-2018.aspx>.

CONEVAL (no date) *Medición de la pobreza. Evolución de las líneas de pobreza por ingresos*. Available at: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>.

Curtis, H. *et al.* (2001) *Biología*. Sexta edición. Editorial Medica Panamericana: Madrid, España.

Dalampira, E. S. and Nastis, S. A. (2019) 'Mapping Sustainable Development Goals: A network analysis framework', *Sustainable Development*, pp. 1–10. doi: 10.1002/sd.1964.

Dawoe, E. K. *et al.* (2012) 'Exploring farmers local knowledge and perceptions of soil fertility and management in the Ashanti Region of Ghana', *Geoderma*, 179–180, pp. 96–103. doi: 10.1016/j.geoderma.2012.02.015.

Diemont, S. A. W., Martin, J. F. and Levy-Tacher, S. I. (2006) 'Emergy evaluation of Lacandon Maya indigenous swidden agroforestry in Chiapas, Mexico', *Agroforestry Systems*, 66, pp. 23–42. doi: 10.1007/s10457-005-6073-2.

Dong, X. *et al.* (2021) 'Responses of maize with different growth periods to heat stress around flowering and early grain filling', *Agricultural and Forest Meteorology*, 303, p. 108378. doi: 10.1016/j.agrformet.2021.108378.

Ebel, R. *et al.* (2017) 'Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo', *Terra Latinoamericana*, 35, pp. 149–160. Available at: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n2/2395-8030-tl-35-02-00149.pdf>.

El Chami, D., Daccache, A. and El Moujabber, M. (2020) 'How can sustainable agriculture increase climate resilience? A systematic review', *Sustainability*, 12, p. 3119. doi: 10.3390/SU12083119.

El-Haggar, S. and Samaha, A. (2019) *Roadmap for Global Sustainability - Rise of the Green Communities*. Springer Nature Switzerland: Cham, Switzerland.

- Enger, E. D. and Smith, B. F. (2010) *Environmental Science: A study of Interrelationships*. Mc Graw Hill: New York, USA.
- Escalante-Estrada, J. A., Rodríguez-González, M. T. and Escalante-Estrada, Y. I. (2015) 'Nitrógeno, distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivos de frijol', *Bioagro*, 27(2), pp. 75–82.
- Escalante-estrada, S. J. A. and Rodríguez-González, M. T. (2017) 'BIOMASS AND YIELD OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) AS A FUNCTION OF THE NITROGEN SOURCE OF THE NITROGEN SOURCE', U.S. Department of Agriculture-Agricultural Research Service / University Of Nebraska-Lincoln.
- Escalona, V. *et al.* (2009) *MANUAL DE CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)*. Nodo Hortícola: Chile.
- Fan, S., Brzeska, J., Keyzer, M. and Halsema, A. (2013) *From Subsistence to Profit: Transforming Smallholder Farms*; International Food Policy Research Institute: Washington, DC, USA; p. 30.
- Fandika, I. R. *et al.* (2011) 'Yield and water use efficiency in (*Cucurbita maxima* Duchesne) Buttercup squash and (*Cucurbita pepo* Linn) heritage pumpkin cultivar', *Australian Journal of Crop Science*, 5(6), pp. 742–747.
- FAO (1979) *A Provisional Methodology for Soil Degradation Assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.
- FAO (1996) *Cumbre Mundial sobre la Alimentación. Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial y Plan de Acción*. Available at: <http://www.fao.org/docrep/003/w3613s/%0Aw3613s00.htm>.
- FAO (2003) *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Roma.
- FAO (2008) *An Introduction to the Basic Concepts of Food Security*. Available at: <http://www.fao.org/3/al936e/al936e00.pdf>.
- FAO (2014) *Agricultura familiar en America Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política*. Salcedo S. y Guzmán L., Eds.; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Roma: Santiago, Chile.
- FAO (2015a) *Año Internacional de la Agricultura Familiar*. Available at: [www.fao.org/family-farming-2014/es](http://www.fao.org/family-farming-2014/es).

- FAO (2015b) *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: La innovación en la agricultura familiar*, *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: La innovación en la agricultura familiar*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Roma. doi: 10.4060/cb1447es.
- FAO et al. (2017) *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Roma.
- FAO et al. (2019) *El estado de la seguridad alimentaria y nutrición en el mundo. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Roma.
- FAO et al. (2021) *Versión resumida del estado de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una mejor nutrición y dietas asequibles y saludables para todos*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Roma.
- FAO and BID (2007) *Políticas Para La Agricultura Familiar*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Santiago, Chile.
- FAO (2012) *Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA): Manual de uso y aplicación*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Roma.
- Feng, J. et al. (2015) 'Design and implementation of emergy-based sustainability decision assessment system for protected grape cultivation', *Sustainability*, 7, pp. 14002–14025. doi: 10.3390/su71014002.
- Ferreira, G. et al. (2021) 'Effect of drought stress on in situ ruminal starch degradation kinetics of corn for silage', *Animal Feed Science and Technology*, 279, p. 115027. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2021.115027.
- Finn, S. (2014) 'Nutrition insecurity and malnutrition in developed countries', in *Addressing Malnutrition to Improve Global Health*. Science/AAAS: Washington, DC:, pp. 8–9.
- Funes-Monzote, F. (2009a) 'Eficiencia energética en sistemas agropecuarios', *Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales*. Available at: [http://www.actaf.co.cu/index.php?option=com\\_mtree&task=att\\_download&link\\_id=682&cf\\_id=24](http://www.actaf.co.cu/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=682&cf_id=24).

- Funes-Monzote, F. (2009b) *AGRICULTURA CON FUTURO: La alternativa agroecológica para Cuba*. Palcograf: La Habana, Cuba.
- García-Flores, J. C. *et al.* (2019) 'Análisis del conocimiento ecológico tradicional y factores socioculturales sobre huertos familiares en el Altiplano Central Mexicano', *Cuadernos Geográficos*, 58(3), pp. 260–281. doi: 10.30827/cuadgeo.v58i3.7867.
- García, R. (2006) *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación de la investigación interdisciplinaria*. Primera edición. Gedisa: Barcelona. España. doi: 10.18682/jcs.v0i6.582.
- Garratt, J. R. (1977) 'Review of drag coefficients over oceans and continents', *Monthly Weather Review*, 105(7), pp. 915–929.
- Gartaula, H. *et al.* (2020) 'Indigenous knowledge of traditional foods and food literacy among youth: Insights from rural Nepal', *Journal of Rural Studies*, 73, pp. 77–86. doi: 10.1016/j.jrurstud.2019.12.001.
- Georgescu-Roegen, N. (1975) 'Energy and Economic Myths', *Southern Economic Journal*, 41(3), pp. 347–381.
- Ghaley, B. B., Kehli, N. and Mentler, A. (2018) 'Emergy synthesis of conventional fodder maize (*Zea mays* L.) production in Denmark', *Ecological Indicators*, 87, pp. 144–151. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.12.027.
- Giménez, A., Castaño, J. P. and Furest, J. (2004) 'El clima, la producción agropecuaria y la toma de decisiones', *revista del Plan AGROPECUARIO*, pp. 34–37. Available at: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807141340.pdf>.
- Gómez-Espinoza, J. A. and Gómez–González, G. (2006) 'Saberes Tradicionales Agrícolas Indígenas Y Campesinos: Rescate, Sistematización E Incorporación a la IEAS', *Ra Ximhai*, 2(1), pp. 97–126.
- González-Ortiz, F. *et al.* (2014) 'Contribuciones de la producción en traspatio a los grupos domésticos campesinos', *Estudios Sociales*, 22(44), pp. 146–170.
- González-Santiago, M. V. and Fernández Reynoso, D. S. (2009) 'Seguridad alimentaria, saberes campesinos y agroecología', *Revista Brasileira De Agroecologia*, 4(2), pp. 3995–3998. Available at: <http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/9360>.

- González-Ulibarry, P. *et al.* (2017) 'Evaluation of sustainability and the impact of the agriculture styles of the chilean coastal dry lands', *Acta Agronomica*, 66(1), pp. 109–114. doi: 10.15446/acag.v66n1.52218.
- Gordillo, G. and Méndez-Jerónimo, O. (2013) *Seguridad y Soberanía Alimentaria (Documento Base para Discusión)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Available at: <https://www.fao.org/3/ax736s/ax736s.pdf>.
- Grubbström, A. and Sooväli-Sepping, H. (2012) 'Estonian family farms in transition: a study of intangible assets and gender issues in generational succession', *Journal of Historical Geography*, 38(3), pp. 329–339.
- Guarneros-Zarandona, N. *et al.* (2014) 'Economía familiar e índice de biodiversidad de especies en los traspatios comunitario de Santa María Nepopualco , Puebla', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Especial*(9), pp. 1701–1712.
- Guevara-Hernández, F. *et al.* (2015) 'Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera “La Sepultura”, Chiapas, México', 6(8), pp. 1929–1941.
- Guillen-Trujillo, H. A. (1998) *Sustainability of ecotourism and traditional agricultural practices in Chiapas, Mexico*. Ph.D. Thesis, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Gutiérrez-Rangel, N. *et al.* (2011) 'Conocimiento tradicional del “cuatomate” (*Solanum glaucescens* Zucc) en la Mixteca baja Poblana, México', *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 8(3), pp. 407–420.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. and Baptista-Lucio, P. (2006) *Metodología de la investigación*. Cuarta edición, McGraw Hill Interamericana: México. doi: - ISBN 978-92-75-32913-9.
- Hernández-Xolocotzi, E. and Ramos-Rodríguez, A. (1977) 'Metodología para el estudio de agroecosistemas con persistencia de tecnología agrícola tradicional.', in Hernández-Xolocotzi, E., Ed.; *Agroecosistemas de México: contribución a la enseñanza, la investigación y la divulgación agrícola*. Colegio de Postgraduados: Texcoco, Estado de México; pp. 321–333.
- Hernández, J. E. *et al.* (2011) 'Caracterización Socioeconómica Y Productiva De Unidades

- Caprinas Familiares En La Mixteca Poblana', *Archivo Zootécnico*, 60(230), pp. 175–182.
- Holling, C. S. (2001) 'Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems', *Ecosystems*, 4, pp. 390–405.
- Houshyar, E., Wu, X. F. and Chen, G. Q. (2018) 'Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: An emergy analysis', *Journal of Cleaner Production*, 172, pp. 2246–2255. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.187.
- INCAP and OPS (2012) *Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica*. Segunda edición. Menchú M. T. and H. Méndez. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá; Organización Panamericana de Salud: Guatemala.
- INEGI (2009) *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Tzicatlacoyan, Puebla*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía: México.
- INEGI (2010) *Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad*. Available at: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#Microdatos>.
- INEGI (2015) *Encuesta Intercensal 2015. Síntesis metodológica y conceptual*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía: México.
- INIFAP (2012) *Muestreo de Suelos y preparación de muestras*. Available at: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/935.pdf>
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report; Writing Team, T.C., Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland, p. 151*.
- Jaramillo-Noreña, Jorge Rodríguez, Viviana Patricia Guzmán, M. and Zapata, M. A. (2006) *El cultivo de tomate bajo invernadero (Lycopersicon esculentum, Mill)*, *Boletín Técnico*. Centro de Investigación La Selva: Antioquia, Colombia.
- Jaramillo-Villanueva, J. L., Morales-Jiménez, J. and Domínguez-Torres, V. (2017) 'Importancia económica del traspatio y su relación con la seguridad alimentaria en comunidades de alta marginación en Puebla, México', *Agroproductividad*, 10(7), pp. 27–32.
- Köppen, E., Mansilla, R. and Miramontes, P. (2005) 'La interdisciplina desde la teoría de

- los sistemas complejos', *Ciencias*, 79, pp. 4–12.
- Laguna-Sánchez, G. A. *et al.* (2016) *Complejidad y sistemas complejos: un acercamiento multidimensional*. Coplt-arXives y EditoraC3: Ciudad de México.
- Latham, M. C. (2002) *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm#Contents>.
- Lefroy, E. and Rydberg, T. (2003) 'Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia', *Ecological Modelling*, 161, pp. 195–211. Available at: [www.elsevier.com/locate/ecolmodel](http://www.elsevier.com/locate/ecolmodel).
- Lei, K., Zhou, S. and Wang, Z. (2014) *Ecological Emergy Accounting for a Limited System: General Principles and a Case Study of Macao*. Science Press: Beijing, China; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany; p. 196. ISSN 2194-3222.
- Lewandowska-czarnecka, A. *et al.* (2019) 'Energy and emergy analysis for assessing changes in Polish agriculture since the accession to the European Union', *Ecological Modelling*, 412, p. 108819. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2019.108819.
- Lotka, A. J. (1922a) 'Contribution to the Energetics of Evolution', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 8, pp. 147–151. doi: 10.1073/pnas.8.6.147.
- Lotka, A. J. (1922b) 'Natural selection as a physical principle', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 8, pp. 151–154. doi: 10.1017/S0031819100021264.
- Lou, B., Qiu, Y. and Ulgiati, S. (2015) 'Emergy-based indicators of regional environmental sustainability: A case study in Shanwei, Guangdong, China', *Ecological Indicators*, 57, pp. 514–524. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.03.017.
- Lutz, C. A., Mazur, E. E. and Litch, N. A. (2015) *Nutrition and diet therapy*. Sixth edition. Davis Company: Philadelphia Pennsylvania, USA; p. 696.
- Macedo, B. (2005) 'El concepto de sostenibilidad'. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Santiago, Chile; pp. 56–59.
- Maletta, H. (2011) 'Tendencias y perspectivas de la agricultura familiar en América Latina', *Rimisp – Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural*: Santiago, Chile; p. 36. Available at: [www.rimisp.org/cambiopobrezarural](http://www.rimisp.org/cambiopobrezarural).
- Manzanero-Medina, G. I. *et al.* (2020) 'Ethnobotany of food plants (*quelites*) sold in two traditional markets of Oaxaca, Mexico', *South African Journal of Botany*, 130, pp.

215–223. doi: 10.1016/j.sajb.2020.01.002.

Mapes, C. and Basurto, F. (2016) *Biodiversity and Edible Plants of Mexico*. In *Ethnobotany of Mexico*; Lira, R., Casa, A., Blancas J., Eds.; Springer Science+Business Media: New York, USA; p. 560. doi: 10.1007/978-1-4614-6669-7\_5.

Marcel, C. (2018) 'Vitamin B12 Deficiency', *Cinahl Information Systems*. Available at: <http://www.choosemyplate.gov/>.

Marten, G. G. (1988) 'Productivity, Stability, Sustainability, Equitability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment', *Agricultural Systems*, 26(4), pp. 291–316.

Martínez-Pérez, A. *et al.* (2012) 'Plantas silvestres útiles y prioritarias identificadas en la Mixteca Poblana, México', *Acta Botanica Mexicana*, 98, pp. 73–98. doi: 10.21829/abm98.2012.1141.

Martínez-Salvador, L. (2016) 'Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México', *Revista Problemas del Desarrollo*, 186(47), pp. 107–132. doi: 10.1016/j.rpd.2016.08.004.

McMurry, J. E. and Fay, R. C. (2009) *Química General*. Quinta edición. Pearson Educación: Naucalpan de Juárez, Estado de México, México; p. 1014

Munns, R. and Tester, M. (2008) 'Mechanisms of salinity tolerance', *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp. 651–681.

Muñoz-Tlahuiz, F. *et al.* (2013) 'Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México', *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 4(4), pp. 515–530.

NASA-POWER (no date) *Data Access Viewer*. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/>.

NEAD (2021) *Data for Mexico, 2014. Modificado de NEAD 2014*. Available at: <http://www.emergy-nead.com/country/data>.

Nelson, D. L. and Cox, M. M. (2005) *Principios de Bioquímica*. Cuarta edición. Omega: Barcelona, España: p. 1264.

Nerson, H., Paris, H. S. and Paris, E. P. (2000) 'Fruit shape, size and seed yield in *Cucurbita pepo*', *Acta Horticulturae*, 510, pp. 227–230. doi: 10.17660/ActaHortic.2000.510.36.

Nguyen, T. P. L., Seddaiu, G. and Roggero, P. P. (2019) 'Declarative or procedural

knowledge? Knowledge for enhancing farmers' mitigation and adaptation behaviour to climate change', *Journal of Rural Studies*, 67, pp. 46–56. doi: 10.1016/j.jrurstud.2019.02.005.

NU (2002) *Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas: Nueva York. USA; p. 184.

Odum, H. T. (1971a) 'An emergy circuit language for ecological and social systems: its physical basis', in *Systems Analysis and Simulation in Ecology*, vol 2. Academic Press: New York, USA; pp. 139–211.

Odum, H. T. (1971b) *Environmental, Power and Society*. Wiley: New York, USA; p. 432.

Odum, H. T. (1983) *Systems Ecology: An Introduction*. Wiley: New York, USA; p. 644.

Odum, H. T. *et al.* (1988) *Environmental Systems and Public Policy*. Center for Wetlands, University of Florida: Gainesville Florida, USA.

Odum, H. T. (1994) *Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology*. Revised edition. University Press of Colorado: Niwot, Colorado, USA; p. 644, ISBN 0-87081-320-x.

Odum, H. T. (1996) *Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making*. Wiley: New York, USA; p. 370, ISBN 0-471-11442-1.

Odum, H. T., Brown, M. T. and Brandt-Williams, S. (2000) 'Introduction and Global Budget'; *Handbook of Emery Evaluation: A Compendium of Data for Emery Computation Issued in a Series of Folios, Folio 1*; The Center for Environmental Policy, University of Florida: Gainesville, Florida, USA; p. 16.

Olvera-Hernández, J. I. *et al.* (2017) 'Importancia de especies vegetales en el traspatio de familias campesinas del Noreste de Puebla, México', *Agroproductividad*, 10(7), pp. 21–26.

OMS (2003) *Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas: informe de una Consulta Mixta de Expertos Organización Mundial de la Salud/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*: Ginebra, Suiza. doi: 10.1002/hlca.19640470721.

Otero-Lamas, B. (2012) *Nutrición*. Primera edición. Red Tercer Milenio: Estado de México, México. Available at:

<http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/salud/Nutricion.pdf>.

- Pérez-Avilés, R. *et al.* (2015) *Traspatio Campesino Sustentable: San Bernardino Tepenene, Tzicatlacoyan, Puebla*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Pérez-Escamilla, R. *et al.* (2007) 'Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA)', in *Perspectivas en Nutrición Humana*, pp. 117–134.
- Pérez-García, O. and del Castillo, R. F. (2016) 'The decline of the itinerant milpa and the maintenance of traditional agrobiodiversity: Crops and weeds coexistence in a tropical cloud forest area in Oaxaca, Mexico', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 228, pp. 30–37. doi: 10.1016/j.agee.2016.05.002.
- Pérez-Jiménez, D., Jiménez-Acosta, C. S. and Plasencia-Concepción, D. (2007) 'La salud en la vivienda, enfoque alimentario-nutricional', *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 45(2).
- Quintero, M. and González, A. (2018) 'Tendencias and challenges for the assessment of agricultural sustainability', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254, pp. 273–281. doi: 10.1016/j.agee.2017.11.030.
- Reiter, E. R. (1969) *Atmospheric Transport processes, Part I. Energy Transfers and Transformations*. First edition. U.S. Atomic Energy Commission, Division of Technical Information: Oak Ridge Tennessee, USA; p. 253.
- Ríos-Reyes, Á., Alanís-Flores, G. and Favela-Lara, S. (2017) 'Etnobotánica de los recursos vegetales, sus formas de uso y manejo, en Bustamante, Nuevo León', *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(44). doi: 10.29298/rmcf.v8i44.106.
- Robichaux, D. (2007) *Familia y diversidad en America Latina*. Primera edición. CLACSO: Buenos Aires: Argentina.
- SAGARPA and FAO (2012) *Agricultura familiar con potencial productivo en México*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación/ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: México.
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Orsorio, L. A. and Cardona-Arias, J. A. (2017) 'Methodological characteristics of sustainability science: a systematic review', *Environment, Development and Sustainability*, 19, pp. 1127–1140. doi: 10.1007/s10668-016-9801-z.
- Salazar-Barrientos, L. de L. and Magaña-Magaña, M. Á. (2016) 'Aportación de la milpa y

traspasio a la autosuficiencia alimentaria en comunidades mayas de Yucatán', *Estudios Sociales*, 24(47), p. 23.

Sánchez-Morales, P. and Hernández-Ortiz, P. (2014) 'Sistema milpa: Elemento de identidad campesina e indígena', *Programa de Intercambio, Diálogo y Asesoría en Agricultura Sostenible y Soberanía Alimentaria (PIDAASSA)*: Distrito Federal, México; p. 25.

Sánchez, B., Rasmussen, A. and Porter, J. R. (2014) 'Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review', *Global Change Biology*, 20(2), pp. 408–417.

Santagata, R. *et al.* (2019) 'Power generation from slaughterhouse waste materials. An emergy accounting assessment', *Journal of Cleaner Production*, 223, pp. 536–552. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.148.

Schaepkoetter, C. C., Bass, J. R. and Gordon, B. S. (2015) 'Student-Athlete School Selection: A Family Systems Theory Approach', *Journal of Intercollegiate Sport*, 8, pp. 266–286. doi: 10.1123/jis.2015-0003.

SEDESOL (2016) *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2016*. Tzicatlacoyan, Puebla. Available at: [http://diariooficial.gob.mx/SEDESOL/2016/Puebla\\_193.pdf](http://diariooficial.gob.mx/SEDESOL/2016/Puebla_193.pdf).

SEMARNAT (2020) *Sistema Nacional de Información Ambiental y de recursos naturales. Espacio Digital Geográfico, Mapas estatales*. Available at: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales>.

Shamah-levy, T. *et al.* (2017) 'Food security governance in Mexico: How can it be improved?', *Global Food Security*, 14, pp. 73–78. doi: 10.1016/j.gfs.2017.05.004.

Singh, R. J. *et al.* (2016) 'Emergy budgeting and emergy synthesis of rainfed maize-wheat rotation system with different soil amendment applications', *Ecological Indicators*, 61, pp. 753–765. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.10.026.

Šūmane, S. *et al.* (2018) 'Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture', *Journal of Rural Studies*, 59, pp. 232–241. doi: 10.1016/j.jrurstud.2017.01.020.

Sumner, J. (2016) *Learning, Food, & Sustainability: Sites for Resistance and Change*.

Palgrave Macmillan: Toronto Ontario, Canada; p. 270. ISBN 978-1-137-53904-5 (eBook)

- Sweeney, S. *et al.* (2007) 'Creation of a Global Emergy Database for Standardized National Emergy Synthesis'. In *Emergy Synthesis 4: Theory and Applications of the Emergy Methodology*, Proceedings of the 4th Biennial Emergy Research Conference, Center for Environmental Policy, Gainesville, Florida, USA, 19–21 January 2006; Brown, M.T., Bardi, E., Campbell, D.E., Comar, V., Huang, S., Rydberg, T., Tilley, D., Ulgiati, S., Eds.; University of Florida: Gainesville, Florida, USA; Abstract Number 23; pp. 1–18.
- Ulgiati, S. *et al.* (1995) 'Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources', *Ecological Engineering*, 5, pp. 519–531. doi: 10.1016/0925-8574(95)00043-7.
- Ulgiati, S. and Brown, M. T. (1998) 'Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems', *Ecological Modelling*, 108, pp. 23–36. doi: 10.1016/S0304-3800(98)00016-7.
- Ulgiati, S. and Brown, M. T. (2009) 'Emergy and ecosystem complexity', *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14, pp. 310–321. doi: 10.1016/j.cnsns.2007.05.028.
- Ulgiati, S. and Brown, M. T. (2014) 'Labor and services as information carriers in emergy-LCA accounting', *Journal of Environmental Accounting and Management*, 2(2), pp. 163–170. doi: 10.5890/JEAM.2014.06.006.
- UN (2015) 'Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development', *United Nations*, p. 35. Available at: [www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution\\_A\\_RES\\_70\\_1\\_EN.pdf](http://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution_A_RES_70_1_EN.pdf).
- Valdés-Restrepo, M. P. *et al.* (2014) 'Variabilidad en frutos y semillas de *Cucurbita moschata* Duch. y *Cucurbita argyrosperma* subsp. *sororia* L.H. Bailey Merrick & D.M. Bates', *Acta Agronómica*, 63(2), pp. 282–293.
- Vibrans, H. (2016) *Ethnobotany of Mexican Weeds*. In *Ethnobotany of Mexico*; Lira, R., Casa, A., Blancas J., Eds.; Springer Science+Business Media: New York, USA; p. 560. doi: 10.1007/978-1-4614-6669-7\_12.

- Villalobos-González, A. *et al.* (2016) 'Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), pp. 1651–1665. doi: 10.29312/remexca.v7i7.157.
- von Bertalanffy, L. (1968) *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. GEORGE BRAZILLER: New York, USA; p. 289.
- Walter, J. *et al.* (2013) 'Ecological stress memory and cross stress tolerance in plants in the face of climate extremes', *Environmental and Experimental Botany*, 94, pp. 3–8. doi: 10.1016/j.envexpbot.2012.02.009.
- Wang, C. *et al.* (2016) 'Measuring regional sustainability with an integrated social-economic-natural approach : a case study of the Yellow River Delta region of China', *Journal of Cleaner Production*, 114, pp. 189–198. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.121.
- Wang, Q. *et al.* (2019) 'Comprehensive evaluation and optimization of agricultural system: An emergy approach', *Ecological Indicators*, 107, p. 105650. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105650.
- Wang, X. *et al.* (2014) 'Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA', *Agricultural Systems*, 128, pp. 66–78. doi: 10.1016/j.agsy.2014.03.005.
- Wang, X. *et al.* (2017) 'Sustainability evaluation of recycling in agricultural systems by emergy accounting', *Resources, Conservation and Recycling*, 117, pp. 114–124. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.11.009.
- Watters, R. F. (1971) 'Shifting Cultivation in Latin America'. Food and Agriculture Organization: Rome, Italy.
- WCED (1987) Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>.
- Wegren, S. K. and O'Brien, D. J. (2018) 'Introduction to symposium: smallholders in communist and postcommunist societies', *Journal of Agrarian Change*, 18(4), pp. 869–881.

- World Bank (2020) *Poverty and Shared Prosperity 2020: Reversals of fortune*. World Bank: Washington DC, USA; p 178. doi: 10.1596/978-1-4648-1602-4.
- Wu, X. *et al.* (2013) 'Emergy-based sustainability assessment of an integrated production system of cattle, biogas, and greenhouse vegetables: Insight into the comprehensive utilization of wastes on a large-scale farm in Northwest China', *Ecological Engineering*, 61, pp. 335–344. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.060.
- Zárate-Guevara, G. S. *et al.* (2016) 'Análisis de la seguridad alimentaria en los hogares del municipio de Xochiapulco Puebla, México', *Estudios Sociales: Revista de investigación científica*, 25(47), pp. 67–85.
- Zhao, H., Zhai, X., Guo, L., Liu, K., *et al.* (2019) 'Assessing the efficiency and sustainability of wheat production systems in different climate zones in China using emergy analysis', *Journal of Cleaner Production*, 235, pp. 724–732. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.251.
- Zhao, H., Zhai, X., Guo, L., Yang, Y., *et al.* (2019) 'Comparing protected cucumber and field cucumber production systems in China based on emergy analysis', *Journal of Cleaner Production*, 236, p. 117648. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117648.