

**Análisis
multidimensional,
sistémico y
transdisciplinario
para la investigación
agrícola (AMSTIA)**


**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**



**Martha Elena Domínguez Hernández
Rosalba Zepeda Bautista**

Análisis multidimensional, sistémico y
transdisciplinario para la investigación agrícola
(AMSTIA)

Martha Elena Domínguez Hernández
Rosalba Zepeda Bautista



Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.183](https://doi.org/10.52501/cc.183)




**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

CC+
COLECCIÓN
CIENCIA e
INVESTIGACIÓN

Análisis multidimensional, sistémico y
transdisciplinario para la investigación agrícola
(AMSTIA)

Martha Elena Domínguez Hernández
Rosalba Zepeda Bautista



Análisis multidimensional, sistémico y transdisciplinario para la investigación agrícola / autoras Martha Elena Domínguez Hernández, Rosalba Zepeda Bautista.— Ciudad de México : Comunicación Científica, 2024. (Colección Ciencia e Investigación).

110 páginas : ilustraciones, gráficas ; 23 x 16.5 centímetros

DOI: 10.52501/cc.183

ISBN: 978-607-9104-47-4

I. Agroecosistemas. 2. Sustentabilidad. 3. Productividad agrícola. I. Domínguez Hernández, Martha Elena, coautora. II. Zepeda Bautista, Rosalba, coautora.

LC: S596.7 D66

DEWEY: 631.422D66

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece a las coordinadoras D.R. © Martha Elena Domínguez Hernández y Rosalba Zepeda Bautista, 2024. Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2024

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta



Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2024

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,

Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170

info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com

 [comunicacioncientificapublicaciones](#)  [@ComunidadCient2](#)

ISBN: 978-607-9104-47-4

DOI: 10.52501/cc.183



**Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.
El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto,
en <https://doi.org/10.52501/cc.183>**

Índice

Agradecimientos	9
Resumen	11
Introducción	13
1. Proceso de desarrollo de la metodología	23
2. Descripción de la metodología <i>AMSTIA</i>	27
Fase 1. Definición del objeto de estudio	27
Fase 2. Diagnóstico de la situación actual del agroecosistema	35
Fase 3. Factores que afectan a la producción en el agroecosistema	43
Fase 4. Diseño de la intervención	46
Fase 5. Diseño de formularios para evaluación de la intervención	52
Fase 6. Capacitación para establecimiento de las unidades de producción demostrativas y la obtención de registros	52
Fase 7. Establecimiento de la intervención	53
Fase 8. Monitoreo de la intervención	53
Fase 9. Colecta de datos experimentales y registros de la intervención	53
Fase 10. Análisis de datos experimentales	56
Fase 11. Integración y presentación de los resultados	56

3. Aplicación de la metodología en el agroecosistema maíz	59
Fase 1. Definición del objeto de estudio	59
Fase 2. Diagnóstico de la situación actual del agroecosistema . .	61
Fase 3. Factores que afectan a la producción	67
Fase 4. Diseño de la intervención	76
Fase 5. Diseño de formularios para evaluación de la intervención	79
Fase 6. Capacitación para establecimiento de las unidades de producción demostrativas y la obtención de registros . .	80
Fase 7. Establecimiento de la intervención	80
Fase 8. Monitoreo de la intervención	80
Fase 9. Colecta de datos experimentales y registros de la intervención	80
Fase 10. Análisis de datos experimentales	81
Fase 11. Integración y presentación de los resultados	86
Conclusiones	91
Referencias	93
Sobre las autoras	101
Índice de figuras	105
Índice de gráficas	107
Índice de tablas	109

Agradecimientos

Las autoras agradecen a los productores de Ahuazotepec, Puebla por participar activamente en el taller, en la encuesta y en el proyecto municipal, a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por el apoyo a la investigación a través de los Proyectos CI2454 Desarrollo y evaluación de prácticas de manejo y bioprocesos para la transición hacia sistemas agroalimentarios sustentables y SIP20231594 Caracterización de la movilidad de contaminantes de fertilizantes nitrogenados en suelo agrícola, respectivamente. Asimismo, al M. C. Juan Virgen Vargas† y a la Dra. Ma. del Rosario Tovar Gómez por compartirnos sus experiencias de trabajo participativo con productores agropecuarios en la región de Valles Altos Centrales de México.

Resumen

La producción agrícola es afectada por factores ambientales, políticos, sociales, culturales, económicos, tecnológicos y de manejo, entre otros. Por ello, la problemática relacionada con los agroecosistemas debe estudiarse desde una perspectiva multidimensional que garantice la obtención de soluciones aplicables a las condiciones locales. Algunas metodologías existentes ofrecen herramientas que permiten obtener análisis, sin embargo, no proveen un marco que considere requerimientos mínimos para el diseño de las intervenciones. A partir de los resultados obtenidos en la investigación: Manejo sustentable de residuos (Nejayote y estiércol) para mejorar el agroecosistema de maíz: Visión transdisciplinaria, se hizo un análisis integral y se propone una metodología multidimensional con enfoque sistémico y transdisciplinario que permite analizar, así como evaluar sistemas de producción agrícola; asimismo, medir el efecto de las intervenciones diseñadas para la mejora de estos. La metodología tiene 11 fases que incluyen la definición del objeto de estudio, el diagnóstico de la situación actual, el diseño y aplicación de intervenciones hasta el análisis de resultados experimentales y presentación de resultados. En estas fases el investigador inicia como observador del sistema; no obstante, al finalizar la primera fase se convierte en actor. El éxito de las intervenciones está sustentado en la participación de los actores del sistema, logrando así un enfoque sistémico y transdisciplinario. Esta metodología considera requerimientos mínimos que garanticen la obtención de resultados confiables; de la misma manera, ofrece un

marco sistémico, transdisciplinario y flexible que se adapta a las condiciones diversas que imperan en los sistemas de producción agrícola.

Palabras clave: *Análisis multidimensional, sustentabilidad, agroecosistema, diseño de intervenciones.*

Introducción

La agricultura juega un rol importante dentro de los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (OD), también conocidos como Objetivos Mundiales; esta actividad económica tiene incidencia directa en la reducción del hambre y la pobreza (OD1, OD2), el acceso a agua limpia (OD6), la producción y consumo responsables (OD12), la contaminación de océanos (OD14), la existencia de los ecosistemas terrestres (OD15); asimismo, es afectada por el cambio climático, pues se estima que por cada grado centígrado que aumenta la temperatura del planeta el rendimiento de los granos disminuye 5% (FAO, 2019). Además, 75% de la población mundial que vive en pobreza extrema depende directamente de la agricultura para subsistir. Entonces, la erradicación de la pobreza en zonas rurales vulnerables dependerá de que los sistemas de producción agrícola se vuelvan más sustentables (Foley *et al.*, 2011; Godfray *et al.*, 2012; FAO, 2016a). Es importante mencionar que las transformaciones económicas estructurales que se llevaron a cabo con éxito en países en desarrollo fueron impulsadas por el crecimiento de la productividad agrícola. Esto dio lugar al desplazamiento de personas y recursos de la agricultura a otros sectores de la economía como el manufacturero, el industrial y el de servicios, y generó un incremento en los ingresos per cápita, así como reducciones drásticas de la pobreza y el hambre (FAO, 2016b, 2017).

La producción total de alimentos en el mundo, de acuerdo con el último reporte de la FAO, fue de 6 278.2 millones de toneladas, los cereales representan 48.9% del total producido, las hortalizas 18.4%, frutas 14.5%, raíces y

tubérculos 14% y legumbres secas y nueces 1.4%. En América se produjeron 1 151.4 millones de toneladas de alimentos, principalmente cereales (67.5%), frutas (13.9%) y hortalizas (6.4%) (FAOSTAT, 2023).

En México, la producción total fue de 88 millones de toneladas, los tres grupos principales fueron cereales (41.6%), frutas (26.9%) y hortalizas (16.8%) (FAOSTAT, 2023). En 2023, el INEGI reportó que 6.6 millones de personas trabajan en el sector primario (ENOE, 2023) y se cuenta con una superficie agropecuaria total de 110 258 153 hectáreas, de las cuales 29.4% se dedican a la agricultura y 70.6% es superficie de agostadero, enmontada y de otro tipo (ENA, 2017).

La agricultura tiene como finalidad la producción; por ello, es importante estudiarla desde una perspectiva holística, en la que se entiendan las relaciones entre el cultivo, el suelo y el clima con el fin de lograr un manejo agronómico adecuado (American Society of Agronomy, 2016). Además, la producción agrícola es afectada por factores ambientales, políticos, sociales, culturales, económicos y tecnológicos que actúan de forma directa e indirecta sobre los componentes del agroecosistema, modificando las características de este (Figura 1).

Figura 1. Factores que afectan al sistema de producción de maíz



Fuente: Elaboración propia (2020).

Los factores ambientales son componentes que actúan directamente sobre los seres vivos; pueden ser bióticos como la predación o la competencia, o abióticos como el clima o el suelo. Los factores políticos se refieren a las políticas públicas desarrolladas por el gobierno en diferentes niveles y a los esquemas de financiamiento de instituciones públicas y/o privadas que pueden afectar la producción; entre ellas están los planes de desarrollo nacional, estatal y municipal, y apoyos gubernamentales.

Los factores sociales y culturales se refieren a los aspectos que realizan los habitantes de una zona geográfica para interactuar con su entorno y semejantes, entre ellos están las tradiciones, el conocimiento transmitido de generación en generación y la interacción del individuo en la comunidad. Los factores económicos consideran aspectos referentes a los recursos monetarios y de otra especie con que cuenta el sistema para la producción, entre ellos, capital, tipo de tenencia de la tierra, tamaño de la unidad de producción y relación beneficio/costo. Los factores tecnológicos y de manejo, consideran lo referente al impacto y desarrollo tecnológico, así como las formas en que se lleva a cabo la producción dentro del sistema. Por ejemplo, preparación del terreno, siembra, labores de cultivo, manejo de plagas y enfermedades, control de maleza, diversidad de especies, acceso a maquinaria y asesoría técnica.

Los sistemas de producción pueden clasificarse en convencionales y tradicionales; los sistemas convencionales tienen como objetivo maximizar la producción y el beneficio económico, de modo que la producción de alimentos se trata como un proceso industrial basado en siete prácticas básicas: labranza intensiva, monocultivos, riego, aplicación de fertilizantes inorgánicos, control químico de plagas y maleza, manipulación genética de variedades y unidades de producción intensiva; los sistemas tienen rendimientos altos, pero baja sustentabilidad debido a la dependencia de insumos externos y baja diversidad (Gliessman, 2015).

Los sistemas agrícolas tradicionales utilizan de manera intensiva los recursos naturales renovables que están disponibles localmente, están adaptados a las condiciones locales por lo que no requieren de la alteración y el control ambiental, mantienen el rendimiento sin sacrificar la capacidad productiva del sistema ni la disponibilidad de los recursos, mantienen la diversidad espacial y temporal; la producción está concebida para satisfacer

las necesidades locales y se realiza utilizando principalmente variedades locales. Además, el manejo agronómico utiliza prácticas basadas en el conocimiento y la cultura de los habitantes; el sistema tiene rendimientos bajos o medios, pero son más sustentables debido a la baja dependencia de insumos externos y a la alta diversidad dentro de las unidades de producción (Altieri, 1987; Gliessman, 2015).

La sustentabilidad no ha sido definida de manera puntual; sin embargo, la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida como Comisión Brundtland, en 1987 acuñó el término de Desarrollo Sustentable definiéndolo como el desarrollo que permite satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la habilidad de futuras generaciones para satisfacer las propias (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987). Las necesidades básicas son comida y fibras, productos obtenidos con la agricultura, actividad que ha tenido efectos diversos en el cambio climático, de modo que es inevitable pensar en el desarrollo sustentable sin considerar la agricultura sustentable (Yunlong y Smit, 1994).

La agricultura es un proceso complejo que se lleva a cabo en tres dimensiones: ambiental o biofísica, económica o tecno-económica y social o sociopolítica (Yunlong y Smit, 1994; Gliessman, 2015). La sustentabilidad en la agricultura considera perspectivas relacionadas con las limitaciones biofísicas, rendimientos sostenidos referidos a la cantidad producida que puede ser mantenida en forma continua; capacidad de carga, que puede ser soportada a perpetuidad; viabilidad de la unidad de producción referida a la capacidad de los productores de permanecer en la agricultura; suministro de productos y seguridad enfocados a la integración de la oferta y la demanda; y la equidad en lo concerniente a la distribución espacial y temporal de productos derivados del uso de recursos (Brklacich *et al.*, 1991; Yunlong y Smit, 1994).

El concepto de agricultura sustentable no tiene una definición precisa, ya que implica tanto formas de pensar como prácticas de producción, de modo que lo que la gente cree y valora hacen que dicho término cambie constantemente. Existen dos visiones para lograr una agricultura sustentable, una es hacer más eficiente el uso de recursos de modo que las entradas y salidas del sistema converjan, y el otro punto de vista implica cambios mayores tanto en la visión de los productores como en las prácticas de producción (Schaller, 1993).

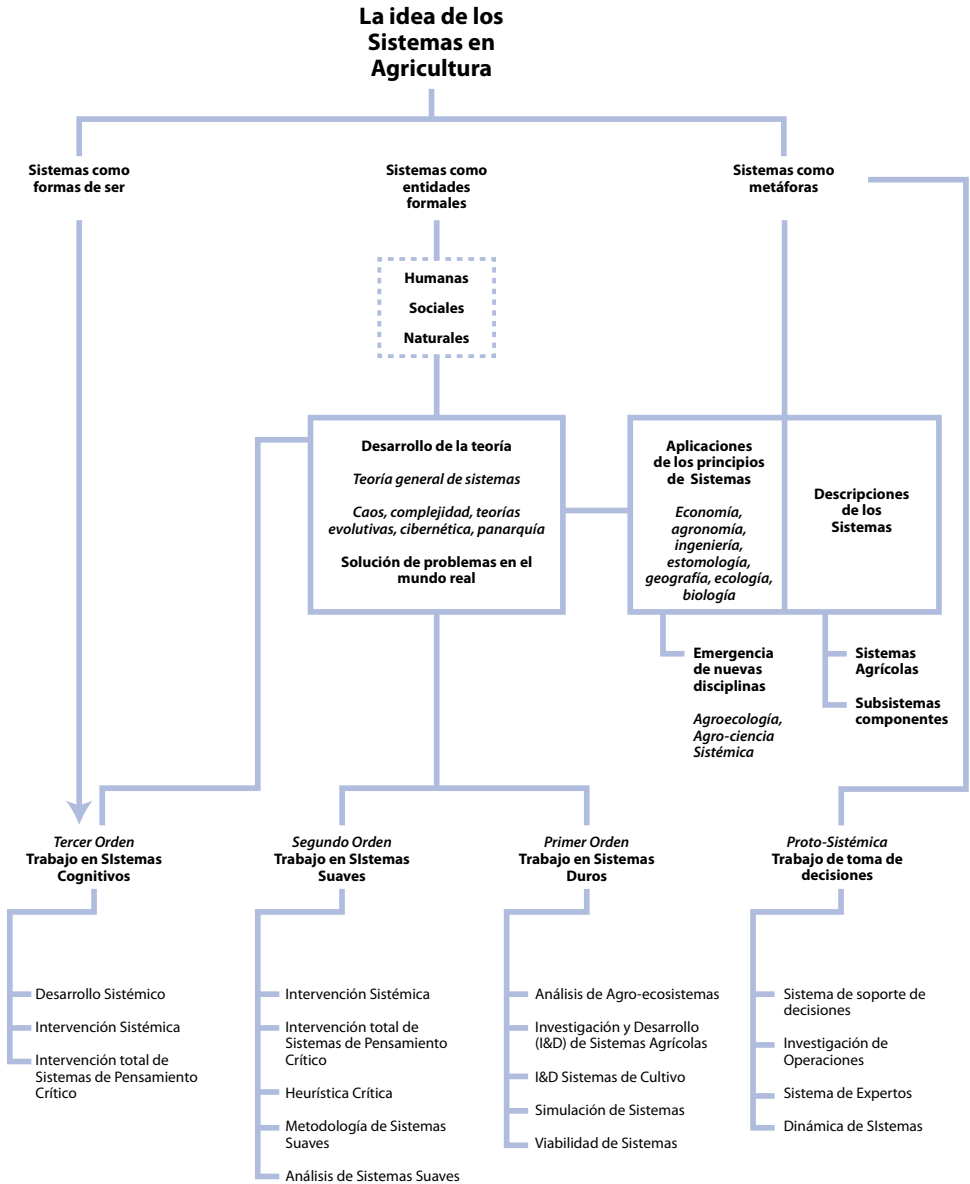
De acuerdo con Gliessman (2015), la agricultura sustentable debe:

- Minimizar los efectos negativos en el ambiente ocasionados por la emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera y a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.
- Preservar y mejorar la fertilidad del suelo, previniendo la erosión y manteniendo la salud ecológica del suelo.
- Utilizar el agua de forma tal que sea posible satisfacer la demanda de la población y permitir la recarga de acuíferos.
- Disminuir la dependencia de insumos externos.
- Trabajar para conservar la diversidad biológica, considerando los servicios ecosistémicos que se brindan dentro del agroecosistema.
- Garantizar el acceso a prácticas de producción apropiadas, al conocimiento y las tecnologías; así como, permitir el control local de los recursos para la agricultura.

La agricultura sustentable debe abordarse desde las dimensiones económica, ambiental y social; considerando las interacciones entre los sistemas y subsistemas a diferentes escalas espaciales. Además, las soluciones deben ser biofísicamente posibles, socialmente aceptables y económicamente factibles, de modo que el análisis o modificación de cualquier componente del agroecosistema implica la integración del pensamiento sistémico con una visión transdisciplinaria que permita la existencia del sistema propuesto o de los cambios sugeridos. Los procesos sociales, económicos y ambientales que interactúan en los agroecosistemas hacen que éstos sean dinámicos y complejos (Conway, 1987; Altieri, 2002). Por ello, el mejoramiento implica la integración de dichos procesos o dimensiones bajo un enfoque sistémico. Además, cualquier estrategia de mejora debe ser evaluada con el fin de compartir las soluciones con los implicados internos y externos al sistema para convertirlos en actores principales del proceso de desarrollo (López-Ridaura *et al.*, 2002; Reed *et al.*, 2006; Mascarenhas *et al.*, 2010; Measham *et al.*, 2011).

La mayor parte de la investigación en el área agrícola está organizada por disciplinas y se orienta a segmentos puntuales del sistema de producción. Francis *et al.* (2008) mencionan que, si bien el enfoque disciplinario

Figura 2. La sistémica en la agricultura



Fuente: Elaboración propia (2020) con información de Rykiel (1984), Bawden (1991), Rykiel (1996), Alrøe y Kristensen (2002), Bawden (2007), Sands (2008), Binder *et al.* (2010) y Donatelli y Confalonieri (2011).

ha logrado incrementar la producción, no está acorde con la sustentabilidad de los agroecosistemas; proponen que la investigación en agricultura considere una perspectiva sistémica donde agricultores, académicos y estudiantes se comprometan en la búsqueda de información proveniente de experiencias y literatura; organicen, planeen y prueben nuevas alternativas y, finalmente, evalúen, comuniquen y apliquen los resultados ya sea a través de prácticas en las unidades de producción o mediante publicaciones.

La sistémica contiene métodos contruidos con base en puntos de vista incluyentes que contemplan a la ciencia como un proceso de aprendizaje social, lo que conduce a adoptar enfoques transdisciplinarios para efectuar la investigación (Alrøe y Kristensen, 2002), esto permite tener una perspectiva holística, procesos de investigación participativos, soluciones que simulan las funciones y estructuras de los ecosistemas, considerar las limitantes y prerequisites locales, adaptación de los sistemas ecológicos y sociales mediante aprendizaje y garantiza diversidad en el uso de herramientas y seguridad (Eksvärd *et al.*, 2009).

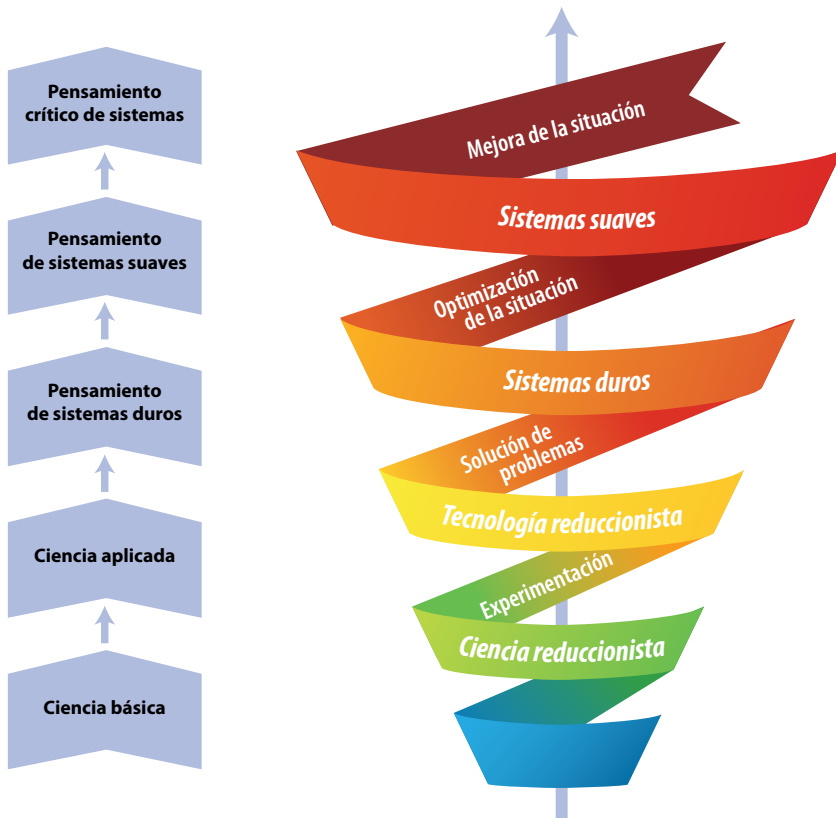
La investigación que se realiza en las ciencias agrícolas generalmente tiene un enfoque reduccionista en el que los factores de estudio se aíslan y se trabajan bajo una perspectiva unidimensional. Entre las metodologías con enfoque sistémico utilizadas en la agricultura (Figura 2) se encuentran las de *Primer Orden* que investigan sistemas duros o tangibles donde el humano se considera un regulador del sistema, el enfoque es similar al utilizado en las metodologías unidimensionales (Bawden, 1991; Bawden, 2007). Las metodologías de *Segundo Orden* trabajan con sistemas suaves y generalmente generan un enlace entre el Primer y Tercer Orden; finalmente, las metodologías de *Tercer Orden* permiten transmitir, evaluar y adoptar conocimientos, lo que conduce al rediseño del sistema agrícola (Bawden, 1991; Bawden y Packham, 1993; Bawden, 2007) (Figura 2).

La espiral de Hawkesbury, propuesta por Bawden (1991) considera cinco ciclos de aprendizaje: Pensamiento crítico de sistemas, pensamiento de sistemas suaves, pensamiento de sistemas duros, ciencia aplicada y ciencia básica; considerando estos ciclos, y la metodología de sistemas suaves propuesta por Checkland y Poulter (2010), es posible desarrollar un marco metodológico sistémico (Figura 3).

Una visión sistémica-transdisciplinaria requiere abordar los agroeco-

sistemas con un esquema holístico que considere al menos tres dimensiones: económica, ambiental y social. Además, es necesario que se lleven a cabo procesos de investigación participativos con el fin de generar soluciones que simulen la complejidad existente en las funciones y estructuras del sistema de producción. Es importante considerar limitantes y prerequisites locales (Francis *et al.*, 2008; Ekstrand *et al.*, 2009). Para ello, es necesario incorporar marcos de evaluación multidimensionales como el MESMIS, propuesto por López-Ridaura *et al.* (2000, 2002), que proponen indicadores para evaluar la sustentabilidad de los sistemas considerando tres dimensiones.

Figura 3. Jerarquía ascendente de solución de problemas utilizada en la Espiral de Hawkesbury



Fuente: Elaboración propia (2020) con información de Bawden (1991).

La FAO (2017) establece que para reevaluar la función de la agricultura y el desarrollo rural en las estrategias nacionales será necesario llevar a cabo diagnósticos regionales que permitan definir prioridades entre los objetivos, orientar las intervenciones y secuenciar las medidas que serán aplicadas.

Con base en la revisión de literatura, la aplicación de metodologías diversas y los resultados obtenidos en la investigación “Manejo sustentable de residuos (Nejayote y estiércol) para mejorar el agroecosistema de maíz: Visión transdisciplinaria”, se realizó un análisis integral y se propone una metodología multidimensional con enfoque sistémico y transdisciplinario que permite analizar y evaluar sistemas de producción agrícola; así como, medir el efecto de las intervenciones diseñadas para su mejora.

1. Proceso de desarrollo de la metodología

En México, uno de los problemas detectados al realizar la investigación Manejo sustentable de residuos (Nejayote y estiércol) para mejorar el agroecosistema de maíz: Visión transdisciplinaria fue la baja disponibilidad de métodos que permitan analizar y evaluar sistemas de producción agrícola o medir el efecto de intervenciones diseñadas para su mejora, utilizando diferentes dimensiones de sustentabilidad.

La obtención de información científica disponible sobre métodos de análisis multidimensional en sistemas agrícolas se realizó mediante una búsqueda sistemática en todas las bases de datos de Web of Science (WoS), ésta se restringió a artículos de investigación científica en inglés o español, revisados por pares y publicados en revistas internacionales indexadas en el periodo entre 1900 y 2019. Las palabras clave utilizadas para la búsqueda fueron *sustainability, assessment, analysis, framework, methodology, indicators, sustainability dimension, multidimensional approach, agriculture, agroecosystem*.

Se obtuvieron 220 resultados, y se analizó su contenido cualitativamente, primero por el título y *abstract* para descartar aquellos en donde no se analizaron al menos dos dimensiones de los sistemas evaluados; se seleccionaron 110 artículos cuyo contenido fue revisado íntegramente para definir si los autores generaron un método o aplicaron uno existente. Una vez realizado el análisis cualitativo del contenido de los artículos encontrados se identificaron las metodologías desarrolladas en México encontrando únicamente dos, el

Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad MESMIS (Maserá *et al.*, 1999; López-Ridaura *et al.*, 2000, 2002) y la herramienta adaptativa y de bajos insumos para la evaluación de la sustentabilidad (SALT, por sus siglas en inglés) (Calleros-Islas, 2019).

Uno de los métodos más utilizados en evaluaciones de sistemas agrícolas bajo un enfoque de agricultura sustentable es el marco MESMIS (Maserá *et al.*, 1999; López-Ridaura *et al.*, 2000, 2002), un método sistémico e interdisciplinario donde la definición del objeto de estudio se hace a partir de una caracterización cualitativa para identificar los sistemas existentes y alternativos, se manejan componentes del sistema: entradas, salidas y características socioeconómicas; no se especifica la forma en que se comparan los sistemas para la presentación de resultados ni cómo se selecciona el valor a presentar en la gráfica de AMIBA, las conclusiones y recomendaciones se limitan al sistema que el investigador considera ideal.

La herramienta adaptativa y de bajos insumos para la evaluación de la sustentabilidad SALT (Calleros-Islas, 2019) se diseñó para evaluar sistemas locales con recursos humanos, económicos y temporales limitados; esta metodología es una modificación del marco MESMIS, además de indicadores de fácil medición, integra la dimensión institucional en la evaluación y propone indicadores que no requieren la participación de expertos para su selección y/o medición. Ambas metodologías permiten evaluar la sustentabilidad de los sistemas de producción, sin embargo, no establecen el diseño de la intervención dentro de sus fases.

Cuando se realizó la evaluación del sistema de producción de maíz dentro de la investigación Manejo sustentable de residuos (Nejayote y estiércol) para mejorar el agroecosistema de maíz: Visión transdisciplinaria en Ahuazotepec, Puebla, México, utilizando algunos indicadores del marco MESMIS y de la herramienta SALT (Tablas 1 y 2), se identificó la necesidad de generar una metodología que considere el análisis bajo un enfoque sistémico y transdisciplinario, ya que la participación activa de los actores del sistema está presente en el proceso. La metodología para el análisis multidimensional, sistémico y transdisciplinario para la investigación agrícola (AMSTIA) se basa en la espiral de Hawkesbury (Bawden, 1991), inicia con la aplicación de la ciencia básica para la definición del problema y llega a la mejora de la

situación a partir de la experimentación. Esta metodología propone fases desglosadas que permiten obtener resultados cuantitativos y cualitativos comparables y que hacen posible la evaluación temporal de los sistemas y las intervenciones diseñadas para la mejora. Asimismo, dos de los objetivos fundamentales son la obtención de línea base y el diseño de intervenciones, cuyos resultados puedan ser comparados y evaluados en distintas escalas temporales. En las Tablas 1 y 2, se presentan algunas de las características de las tres metodologías con el fin de establecer las diferencias y coincidencias encontradas respecto a las dimensiones evaluadas, objetivo, objeto de estudio, fases, información requerida, evaluación, indicadores (medición y ponderación) y tipo de datos.

Tabla 1. Características de las metodologías evaluadas y propuesta AMSTIA: Dimensiones, objetivo, objeto de estudio y fases

<i>Característica</i>	<i>MESMIS</i>	<i>SALT</i>	<i>AMSTIA</i>
Autor	Masera et al. (1999)	Calleros-Islas (2019)	Domínguez y Zepeda (2024)
Dimensiones evaluadas	Económica, ambiental y social	Social, Institucional, Económica y Ambiental	Económica, ambiental y social
Objetivo	Evaluar la sustentabilidad de sistemas de manejo de recursos naturales a escala local	Evaluar sustentabilidad en un contexto local	Mejorar un sistema de producción considerando un enfoque multidimensional, sistémico y transdisciplinario
Objeto de estudio	Sistemas de manejo	Sistemas de producción a nivel local	Sistemas de producción. Agroecosistemas. Sistemas de manejo.
Fases	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definición del objeto de estudio 2. Determinación de fortalezas y debilidades de los sistemas 3. Selección de indicadores estratégicos 4. Medición y monitoreo de indicadores 5. Presentación e integración de resultados 6. Conclusiones y recomendaciones 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de variables e indicadores considerando que se adapten al contexto, que puedan proporcionar información en periodo corto de tiempo y que sean flexibles. 2. Medición de indicadores en forma cualitativa y cuantitativa. Presentación de resultados en una gráfica de AMIBA.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definición del objeto de estudio 2. Diagnóstico de la situación actual del agroecosistema 3. Factores que afectan a la producción 4. Diseño de la intervención 5. Diseño de formularios para evaluación de la intervención 6. Capacitación para establecimiento de las unidades de producción demostrativas y obtención de registros 7. Establecimiento de la intervención 8. Monitoreo de la intervención 9. Colecta de datos experimentales y registros de la intervención 10. Análisis de datos experimentales 11. Integración y presentación de resultados

Nota: AMSTIA = Análisis multidimensional, sistémico y transdisciplinario para la investigación agrícola; MESMIS = Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad; SALT = Herramienta adaptativa y de bajos insumos para la evaluación de la sustentabilidad.

Tabla 2. Características de las metodologías evaluadas y propuesta AMSTIA: dimensiones, objetivo, objeto de estudio y fases

Característica	MESMIS	SALT	AMSTIA
Información requerida	Encuestas, mediciones	Utiliza promedios obtenidos de la evaluación de sistemas similares al alternativo y al convencional, no especifica cómo obtenerlos	Información estadística, geográfica, encuestas, mediciones directas, datos experimentales
Evaluación	Compara sistema convencional y alternativo	Compara sistema convencional y alternativo	Sistema actual, sistema de referencia y sistema mejorado o alternativo
Indicadores	No están definidos en la metodología	Conjunto flexible de 18 indicadores.	Indicadores de sustentabilidad para cada dimensión evaluada
Medición de indicadores	Definida por el investigador	Encuestas, observación en campo, metadatos.	Encuesta, laboratorio, mediciones directas, estimaciones y cálculos
Ponderación de indicadores	No está definida	Con respecto a la percepción de los productores, normalizados en una escala de 0 a 100	Con respecto a un valor de referencia, en escala de 0 a 10
Tipo de datos	Cualitativos y cuantitativos	Cualitativos	Cualitativos y cuantitativos

Nota: AMSTIA = Análisis multidimensional, sistémico y transdisciplinario para la investigación agrícola; MESMIS = Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad; SALT = Herramienta adaptativa y de bajos insumos para la evaluación de la sustentabilidad.

2. Descripción de la metodología AMSTIA

La metodología para hacer un Análisis Multidimensional, Sistémico y Transdisciplinario para la Investigación Agrícola (AMSTIA) está compuesta por 11 fases (véase la Figura 4), desde la definición del objeto de estudio hasta la integración y presentación de los resultados.

Fase 1. Definición del objeto de estudio

La definición del objeto de estudio inicia con la observación del entorno, entendida como la actividad realizada para detectar y asimilar información; seguida de la contextualización geográfica y temporal de la investigación. Una vez que se observa el entorno, se pueden definir el o los problemas que se desean estudiar en función de la o las necesidades de la población. La necesidad es un impulso humano o motivación dirigido a satisfacer una carencia de algo de naturaleza variable como alimento, agua, vivienda, protección, efecto, seguridad, entre otros (Real Academia Española (RAE), 2001).

El problema de investigación es algo que no tiene solución al momento en que se inicia el estudio, se crea una relación problema-investigación-solución. El problema se concibe porque el grupo de investigadores está seguro de que a través de la investigación científica se llegará a la solución. El proceso de investigación es dinámico y continuo; existen niveles de investigación: 1. Básica, incrementa los conocimientos teóricos y 2. Aplicada,

depende de la investigación básica y se caracteriza por su interés en la aplicación (Rojas, 2012). De aquí, surge la pregunta ¿cómo definir el problema de investigación?

Figura 4. Metodología para el Análisis multidimensional, sistémico y transdisciplinario para la investigación agrícola (AMSTIA)



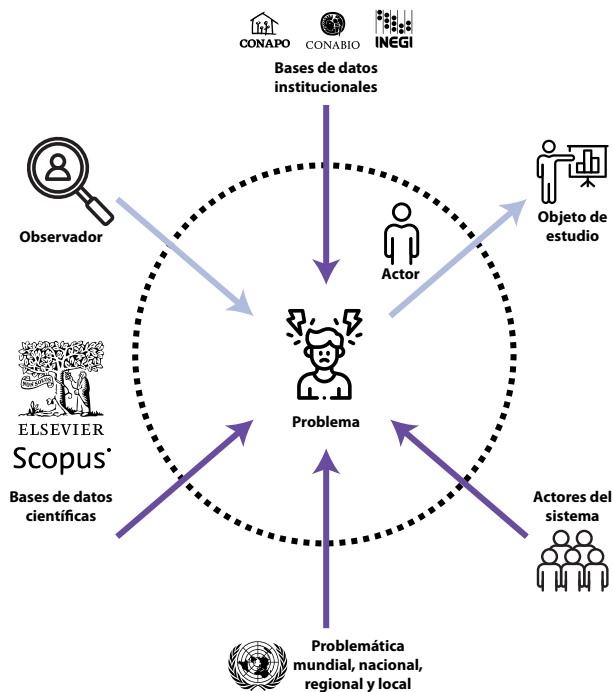
Fuente: Elaboración propia (2018).

Es recomendable definir el problema de investigación con base en el análisis sistemático de la información científica y empírica existente sobre el tema, al momento que se inicia la investigación. Se define un título tentativo de la investigación (entre 15 y 20 palabras incluidos los conectores, de acuerdo con diversas guías de autores de revistas indizadas), éste se va

focalizando en función del contexto investigado; debe ser tan claro y preciso que dirija la investigación, debe reflejar el objetivo general, la metodología y los resultados esperados. Una vez definido el título se seleccionan entre tres y seis palabras claves. Existen dos formas: 1. Revisión de literatura científica, de divulgación y de bases de datos de protección intelectual y/o de información estadística, y 2. Trabajo de campo.

Para hacer la búsqueda en las bases de datos de información científica, de divulgación, de protección intelectual y de información estadística se usan las palabras claves. Se realiza de lo general a lo particular; esto es, se inicia con una palabra clave, enseguida se suma otra, y así sucesivamente hasta utilizar todas las palabras clave o combinaciones de ellas. En general, las bases de datos se dividen en tres grupos, las que contienen información científica y de divulgación, las de información estadística y las de protección intelectual (Figura 5).

Figura 5. Fase 1: Definición del objeto de estudio en la investigación agrícola



Fuente: Domínguez (2018).

Entre las que se pueden consultar:

- Scopus (<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>).
- Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>).
- Web of science (https://apps.webofknowledge.com/WOS_General-Search_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=6CTV7K9NUBsuV8bJBy1&preferencesSaved=).
- Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (conricyt) (<https://www.conricyt.mx/>).
- Emerald (<https://www.emerald.com/insight/advanced-search>).

Es conveniente consultar las bases de datos que incluyen investigaciones realizadas en Latinoamérica, cuya información podría encontrarse en las bases de datos internacionales, pero contienen información regional y local, útil para definir el problema de investigación (Figura 5):

- Scientific Electronic Library Online (SciELO) (<http://www.scielo.org/php/index.php?lang=en>).
- Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) (<http://www.redalyc.org/home.oa>).

Las bases de datos con información estadística sobre la producción de alimentos en la agricultura, considerando los cuatro subsistemas básicos (coordinación, mantenimiento, adaptación y producción), insumos, procesos de transformación y productos (bienes y servicios); así como sus interacciones —que pueden ser consultadas— se encuentran:

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO Statistical Databases (FAOSTAT) (<http://www.fao.org/faostat/es/#data>).
- United States Department of Agriculture (USDA) (<https://fdc.nal.usda.gov/>).
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (<https://www.gob.mx/agricultura>).

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (<https://www.gob.mx/siap>; <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (<https://www.inegi.org.mx/>).
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (<https://www.gob.mx/conapo>).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (<https://www.gob.mx/conabio>).
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) (<https://www.gob.mx/snics>).

Por otra parte, se recomienda revisar las bases de datos de protección intelectual para conocer el acervo de tecnología que se podría utilizar en el diseño de las intervenciones, o bien identificar aquellas que podrían ser candidatas de protección intelectual en beneficio de los productores agropecuarios. La propiedad intelectual está relacionada con las creaciones de la mente: invenciones, obras literarias y artísticas, símbolos, nombres e imágenes utilizadas en el comercio. Existen tipos de propiedad intelectual: patentes, derechos de autor u obtentor, marca, dibujos y modelos industriales, indicaciones de origen y secretos comerciales (OMPI, 2021). Particularmente, en el agroecosistema los productores deben tener conocimiento sobre derechos de obtentor, marca e indicaciones de origen porque puede ser de utilidad. La información se puede consultar en:

- Organización Mundial de Protección Intelectual (OMPI); World Intellectual Property Organization (WIPO) (<https://www.wipo.int/portal/es/>; <https://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf>).
- Instituto Mexicano de Protección Intelectual (IMPI) (<https://www.gob.mx/impj>; https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP).

En las bases de datos es posible consultar diversos tipos de publicaciones: revistas científicas y de divulgación, libros, folletos, manuales y congresos con arbitraje, y en algunos casos permitidos, tesis en idioma español, inglés o francés, entre otros. El periodo de tiempo de las publicaciones se puede dividir en dos: entre 2023 y 2019 y entre 2018 y 2014, con excepción

de publicaciones clásicas sobre el tema, que pueden haber sido publicadas con anterioridad. Entonces, los criterios de inclusión son: publicaciones con arbitraje en idioma inglés o español publicadas en años ≥ 2014 a nivel mundial, nacional, regional y local. Esto con el objetivo de obtener información validada para plantear el problema de investigación con un sustento bibliográfico. Otra fuente de información importante son los habitantes del lugar donde se desea hacer la investigación e intervención con el fin de aprovechar el conocimiento empírico, esta información se puede coleccionar mediante el método de la encuesta.

Una vez que se definieron los contextos y fundamentos de la investigación, se elige el sitio físico donde se va a llevar a cabo la misma. La información necesaria para definir el objeto de estudio en la agricultura, que se propone en la metodología AMSTIA, es:

1. *Ubicación geográfica.* Obtener las coordenadas geográficas del lugar donde se llevará a cabo la investigación. Para ello, se pueden utilizar fuentes gubernamentales como INEGI cuando se trate de localidades, municipios o estados, y mediante el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) cuando se trate de unidades de producción dentro de una localidad.
2. *Hidrología y relieve.* Es recomendable obtener información sobre los factores como pendientes, ríos y cuerpos de agua en el INEGI y CONABIO; o bien, mediante observación directa en la zona de estudio o a través de los pobladores.
3. *Caracterización climática.* Se obtiene a partir de normales climáticas de la estación meteorológica más cercana al lugar de estudio o bien a partir de datos registrados *in situ* mediante el uso de una estación meteorológica portátil o un pluviómetro de lectura directa o casero. Por lo menos, será necesario contar con información de temperatura media, máxima y mínima, así como la cantidad y la distribución de la precipitación diaria, semanal, mensual, anual o promedio de años.
4. *Características edáficas.* Se pueden obtener de la información gubernamental (INEGI, CONABIO u otros) o bien mediante un muestreo probabilístico, o no probabilístico en los suelos en la zona de estudio.

Es recomendable disponer de la información sobre las características físicas y químicas del suelo.

5. *Información sobre la población.* En las bases de datos gubernamentales como INEGI y Conapo, será necesario identificar número de habitantes, edad, sexo, índice de marginación, escolaridad y población económicamente activa, entre otras.
6. *Actividades económicas.* La información sobre las actividades económicas realizadas en la zona de estudio puede ser obtenida mediante bases de datos gubernamentales como las disponibles en INEGI.
7. *Vías de comunicación.* Se pueden obtener en las bases de datos de INEGI y/o mediante observación directa en la zona de estudio.
8. *Programas gubernamentales orientados a la producción agropecuaria y forestal.* La información puede ser obtenida en las bases de datos de la SADER, Conahcyt, Secretaría de Economía, Fundación Produce, Gobierno Federal y Estatal, entre otras.
9. *Estadísticas de producción agropecuaria y forestal en la zona.* Pueden obtenerse en las bases de datos del SIAP, SADER e INEGI. Se requerirá la información de rendimiento, precio medio rural, superficie sembrada, superficie cosechada, valor de la producción, insumos y productos, entre otros.
10. *Información cultural.* La información sobre el conjunto de conocimientos, ideas, tradiciones y costumbres que caracterizan a la población donde se va a llevar a cabo la investigación puede ser obtenida en bases de datos gubernamentales o a través de los pobladores.

La información recopilada debe ser analizada en forma holística, con hincapié en la justificación de la investigación. Para ello, se deben contestar las preguntas:

- ¿Por qué se estudiará el objeto?
- ¿A quién o quiénes beneficiará la investigación?

Con base en la información y el objetivo de la investigación se determinan los componentes, las funciones, las interacciones, la frontera del sistema y los factores externos e internos que afectan al mismo (Figura 1). El siste-

ma es un conjunto de elementos o partes que está coherentemente organizado e interconectado en un patrón o estructura que produce un conjunto característico de comportamientos, es decir, una función o propósito (Meadows, 2008). Esto permite hacer la caracterización de la población para identificar cuál es su comportamiento y de qué forma interactúan los pobladores entre sí.

La información permite determinar cómo es que la intervención, producto de la fase de experimentación de la investigación, podría aplicarse en la zona, respondiendo a dos interrogantes:

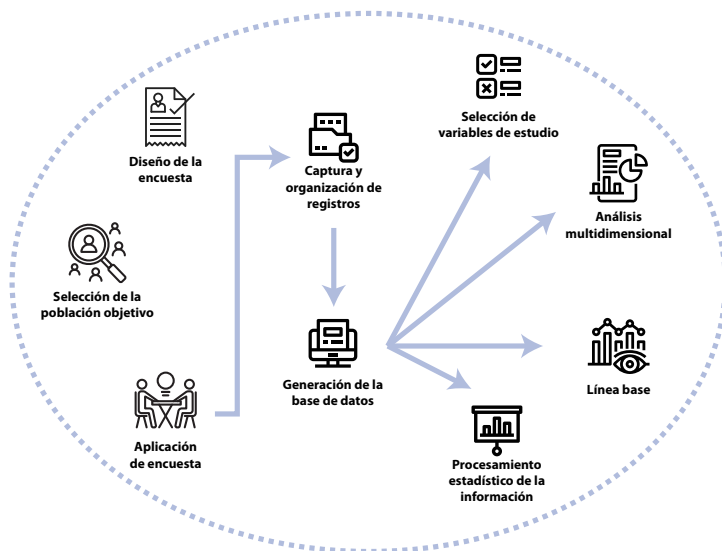
- ¿Cómo se va a realizar la transferencia de tecnología?
- ¿Cómo la población va a adoptar la tecnología?

Investigador y/o grupo de investigadores

Durante la fase de definición del objeto de estudio, el investigador o grupo de investigadores son importantes para el análisis y solución del problema. En la Fase 1 de la metodología de Jenkins (análisis del problema) se menciona que la organización del proyecto es actividad de un grupo más que de una sola persona; el equipo debe estar formado por especialistas de diferentes disciplinas en función del problema que se desea solucionar (Gigch, 2006). Por otra parte, Alrøe y Kristensen (2002) mencionan que el conocimiento dependerá de la forma en la que el investigador actúa, percibe y representa el fenómeno; así como, de las posibilidades de experimentación o intervención y de la observación. Entonces, la experimentación dependerá del conocimiento disponible, los medios de observación y los valores e intereses definidos en la investigación.

El investigador o grupo de investigadores son un elemento importante del agroecosistema en estudio, los cuales, al inicio de la Fase 1, son observadores; sin embargo, a medida que se avanza hacia la definición del problema y el objeto de estudio, será necesario que hagan una transición para convertirse en actores. Los investigadores evolucionan durante el desarrollo de la investigación en función de los contextos y fundamentos. Para el caso de un investigador en formación, Hernández-Aguilar (2018) mencio-

Figura 6. Fase 2: *Diagnóstico de la situación actual del agroecosistema en estudio en la investigación agrícola*



Fuente: Domínguez (2018).

na que será un agente de cambio; toda vez, que observa el mundo y propone nuevas soluciones a los problemas que se experimentan mediante la autoinvestigación; el sujeto que investiga se observa por sí mismo, contextualiza sus propios problemas y los de los demás; así como, sus decisiones para transformar el sistema.

Fase 2. Diagnóstico de la situación actual del agroecosistema

El diagnóstico es un método para coleccionar datos, analizarlos e interpretarlos con el fin de evaluar una cosa o situación que tiene como objetivo facilitar la toma de decisiones (RAE, 2020). Por ello, inicia con el análisis exhaustivo de la información obtenida con el fin de seleccionar los indicadores o variables de estudio que serán evaluadas en la intervención. Se propone auxiliarse de metodologías sistémicas que consideran dimensiones de sustentabilidad como MESMIS (López-Ridaura *et al.*, 2000 y 2002) o IDEA-In-

dicadores de sostenibilidad de una explotación agrícola (Zahmn *et al.*, 2008), entre otras. Esto con el fin de realizar los estudios considerando las dimensiones ambientales, económicas y sociales del agroecosistema.

Para llevar a cabo el diagnóstico de la situación actual en condiciones de campo se propone hacer: selección de la población objetivo, diseño de encuestas, aplicación de encuestas, captura y organización de registros, generación base de datos, procesamiento estadístico de la información, análisis multidimensional y línea base (véase la Figura 6).

Selección de la población objetivo y tamaño de muestra

La población de estudio se define considerando el número de productores involucrados en la actividad agropecuaria que se desea estudiar, también se considera la delimitación por la frontera física. Por ejemplo, para un estudio con los productores de maíz en el municipio de Ahuazotepec, Puebla, se busca, en las bases de datos oficiales de la SADER a nivel nacional, estatal, distrital, municipal y local, el patrón de productores de maíz o bien, se consulta la información directamente con los productores; enseguida, se hace el cálculo de tamaño de muestra. Para esto se deben considerar tres factores:

1. El porcentaje de confianza con el cual se requiere generalizar los datos desde la muestra hacia la población de estudio. Un valor de 100% equivale a decir que no existe ninguna duda para generalizar los resultados, pero implica estudiar a la totalidad de la población. Se podría considerar un porcentaje de confianza entre 90 y 99%.
2. El porcentaje de error que se pretende aceptar al momento de hacer la generalización. Con un riesgo de error de 0%, la muestra es igual a la población. Es conveniente considerar un error entre 1 y 10%.
3. El nivel de variabilidad. Cuando se habla de máxima variabilidad, en el caso de no existir antecedentes sobre la investigación, los valores de variabilidad positiva y negativa es $p = q = 0.5$

Con base en la información, se hace la determinación del tamaño de muestra mediante la ecuación:

$$n = (z^2 \sigma^2 N) / ((N-1) E^2 + z^2 \sigma^2)$$

Donde n es el tamaño de la muestra, z es la puntuación normal, σ es la desviación estándar; N es el tamaño de la población y E es el error de estimación (Badii *et al.*, 2008). También, se puede usar la ecuación propuesta por Malhotra (2004) cuando se conoce la población y cuando no se conoce la población, respectivamente:

$$n = (z^2 p q N) / (N E^2 + z^2 p q)$$

$$n = (z^2 p q) / E^2$$

Donde: n es el tamaño de la muestra, z es la puntuación normal, p es la variabilidad positiva, q es la variabilidad negativa y E es el error de estimación.

Diseño de la encuesta

La encuesta puede ser considerada como un instrumento para recolectar datos a través de cuestionarios, entrevistas, escalas de opinión, entre otros; o bien, como un método de investigación. Esto es, un procedimiento de investigación, que involucra: la formulación del problema, el establecimiento de los objetivos, la selección de la población objetivo y el diseño y análisis de datos (Alaminos y Castejón, 2006). El uso de la encuesta como instrumento o método, lo define el investigador o grupo de investigadores en función del objetivo de la investigación. Para este caso, se utilizó como un instrumento para recolectar datos, parte de un método.

La encuesta debe ser diseñada considerando las características de la población; así como las secciones y preguntas que garanticen la medición de los indicadores que serán evaluados. También, se recomienda incluir mediciones de campo para factores como el suelo y el clima (obtenidos en la Fase 1).

Las secciones que puede contener la encuesta semiestructurada son: información general sobre el productor, datos socioeconómicos, características

de la unidad de producción, manejo agronómico de los cultivos, comercialización del producto, infraestructura y recursos para la producción y cuidado al ambiente.

1. *Información general sobre el productor.* La identificación de dónde vive el productor, edad, sexo, discapacidad, escolaridad, organización para la producción y años dedicados a la actividad agrícola y pecuaria; así como, si el productor lleva a cabo el registro de las actividades realizadas, insumos utilizados y productos, entre otros.
2. *Datos socioeconómicos.* Número de dependientes económicos, número de trabajadores permanentes o eventuales (familiares o no), aportación de la actividad agrícola y pecuaria en el ingreso del productor, actividades económicas realizadas, ingresos y egresos de la producción (insumos, actividades de transformación y productos) y asesoría técnica agrícola y pecuaria recibida (quién proporcionó la asesoría y su calidad).
3. *Características de la unidad de producción.* Ubicación geográfica (longitud, latitud y altura sobre el nivel del mar), relieve, pedregosidad, tenencia de la tierra, tipo de suelo, características físicas y químicas del suelo (análisis de suelo), superficie sembrada, cultivos sembrados durante los últimos cinco años y sistema de producción utilizado. Asimismo, la cantidad y la distribución de la precipitación y la temperatura promedio, máxima y mínima (promedio de 5 o 10 años) en una estación meteorológica cercana a la unidad de producción; o bien preguntar al productor si mide la precipitación y temperatura *in situ*.
4. *Prácticas de producción.* Involucra las actividades de preparación del terreno, aplicación de mejoradores al suelo, tipo y variedad de semilla usada (costo y densidad de siembra y de población), sistema de siembra, cultivos o labores culturales, nutrición (fertilización y abonado), riego (tipo de agua de riego, sistema de riego y cantidad de agua usada), control de malezas (tipo de control y herbicidas), plagas y enfermedades (tipo de control, daños y pesticidas), labores pre-cosecha, cosecha y poscosecha (tratamiento y envasado). En cada una de las actividades de producción es recomendable recolectar la informa-

ción sobre el costo del producto y de la aplicación, y frecuencia de la aplicación durante el ciclo de cultivo.

5. *Comercialización*. Disponer de la información sobre la logística de comercialización, estudios de mercado para determinar la cantidad de producción requerida, tipo y directorio de compradores, canales de comercialización, cantidad de producto vendido, precio, autoconsumo, ingresos y proveedores de insumos, entre otros.
6. *Infraestructura y bienes disponibles para la producción*. Se requiere saber sobre la maquinaria y equipo disponible para la producción en cantidad y condición de funcionamiento; así como, si es propio, comunal o rentado. También, es conveniente saber si se dispone de una planta de beneficio para cereales para el procesamiento desde el secado, pasando por el desgrane hasta el envasado, almacén, laboratorio para evaluación de la calidad, transporte para la entrega del producto y equipo de cómputo para el registro de información del sistema de producción, que ayude a la planeación, la ejecución y la administración del sistema de producción.
7. *Cuidado del ambiente*. Todos los sistemas de producción causan, en mayor o menor grado, un cambio en el ambiente. Se recomienda recolectar información sobre la eficiencia en el uso de agua para la producción de alimentos, obras de captación y/o aprovechamiento de agua y de conservación y/o rehabilitación de suelo, manejo y uso de fertilizantes orgánicos y abonos; uso de métodos físicos, biológicos y mecánicos para el control de malezas, plagas y enfermedades, manejo de envases de pesticidas, contaminación de efluentes, entre otros.

Una vez terminado el diseño de la encuesta, se debe de validar mediante la revisión de expertos sobre el agroecosistema de estudio; así como con una prueba piloto que se refiere a la aplicación de la encuesta a un grupo de productores. Esto para identificar alguna o algunas preguntas que no se entienden, que no tienen respuesta y/o información que pueda faltar; así como, la eficiencia en la aplicación y manejo de la información.

Aplicación de la encuesta (muestreo probabilístico y no probabilístico)

Para llevar a cabo una encuesta, esta debe ser aplicada en una muestra representativa de la población de estudio donde se realizará la intervención o evaluación (Figura 6). Para la selección de los productores que serán entrevistados, se recomienda aplicar un muestreo, este es un medio para obtener información deseada sobre una población tomando en cuenta criterios de inclusión y exclusión (características que deben poseer, o no, los entrevistados); se realiza porque, generalmente, no se puede entrevistar a la población total. El muestreo puede ser probabilístico o no probabilístico en función de la población de estudio (Otzen y Manterola, 2017). El probabilístico puede ser:

1. *Aleatorio simple*, se usa cuando el ambiente es homogéneo, el investigador selecciona al azar un número de entrevistados; en la práctica, se enumeran las unidades de 1 a N (N es la población de estudio), y a continuación se seleccionan n números aleatorios entre 1 y N .
2. *Aleatorio sistemático*, se utiliza cuando las unidades de la población están de alguna manera ordenadas. Para seleccionar una muestra de n unidades, se divide la población en n subpoblaciones de tamaño $K=N/n$ y se toma al azar una unidad de la K primera y de ahí en adelante cada K -ésima unidad.
3. *Aleatorio estratificado*, se usa cuando la población está dividida o agrupada en pocos estratos debido a su variabilidad; este tipo de muestreo consiste en seleccionar una muestra aleatoria simple de cada uno de los estratos (Badii, 2011).
4. *Conglomerados*, se utiliza cuando la población es dividida en grupos o conglomerados. Se selecciona al azar el número de conglomerados y se obtiene una muestra aleatoria simple de cada uno.

El muestreo no probabilístico pueden ser: 1. *Intencional*, la selección es por el entrevistador, las personas seleccionadas son casos característicos de una población muy variable y la muestra es muy pequeña, 2. *Por conveniencia*, se hace la selección de aquellas personas accesibles que acepten ser incluidos y que estén próximos para el investigador, y 3. *Incidental o consecutivo*, se seleccionan

personas de forma casual hasta que se completa el número de estas requeridas para el tamaño de muestra calculado (Otzen y Manterola, 2017).

Las encuestas deben ser aplicadas, de preferencia, al finalizar el ciclo de producción agrícola con el objetivo de registrar información reciente. Es conveniente realizar la aplicación de las encuestas en la unidad de producción con el fin de observar detalles y revisar la información proporcionada por el responsable de la unidad; o bien, en una reunión de productores, en su domicilio, con la ayuda de medios electrónicos y/o la combinación de algunos de los medios.

Antes de iniciar la aplicación de las encuestas a los productores agropecuarios, se debe capacitar al o los entrevistadores, aun si fueron ellos quienes diseñaron la encuesta. La capacitación debe ser impartida por uno o varios expertos teóricos y prácticos que tengan los conocimientos sobre los elementos, funciones e interacciones del agroecosistema, los factores que lo afectan, y cómo el agroecosistema influye en su entorno. Esto permitirá que los entrevistadores tengan los conocimientos previos del sistema con el fin de agilizar el proceso de obtención de la información en campo y garantizar que esta es fidedigna. Se recomienda georreferenciar los cuestionarios para futuros geoprocесamientos.

Procesamiento de la información obtenida en las encuestas

Consiste en la captura y organización de registros para generar una base de datos.

1. *Construcción de una base de datos en un software especializado (Access, SQL) o en Excel.* La base de datos debe contar con todos los campos contenidos en la encuesta, cada campo debe ser identificado con descripción, tipo de valor y escala de medición. La base de datos debe permitir la sistematización de los cuestionarios; por ello, las variables cualitativas deberán ser convertidas a una escala que permita una captura más eficiente, las equivalencias de la escala correspondiente deberán colocarse en la información general del campo.

2. *Captura de registros.* Los cuestionarios serán capturados colocando las respuestas en los campos correspondientes en la base de datos. Cada registro tendrá un número de identificación que deberá colocarse en el registro físico para poder realizar trazabilidad en caso de ser necesario.

Análisis estadístico de la información

Para el análisis estadístico de la información se recomienda utilizar estadística multivariable y descriptiva. Esto permite la clasificación de los registros de acuerdo con las variables que el investigador o grupo de investigadores consideren relevantes, eliminando el carácter arbitrario que muchas veces se utiliza en este proceso. El análisis estadístico implica:

1. *Selección de variables.* Se realiza mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP) para reducir la dimensionalidad del sistema y facilitar la interpretación, visualización y comprensión de las interacciones entre las variables (Sokal, 1977).
2. *Integración y caracterización de las observaciones dentro de los posibles grupos o tipologías.* Se hace a través de Análisis de Conglomerados (AC) (Berdegúe *et al.*, 1990; Köbrich *et al.*, 2003; Han *et al.*, 2012).
3. *Descripción del conglomerado.* En cada conglomerado obtenido, las variables se analizan utilizando medidas de tendencia central (promedio, moda, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y varianza); mientras que, en las variables cualitativas se determinan los porcentajes con el fin de obtener una caracterización de cada clúster o conglomerado. La clasificación permite la identificación de los factores que inciden en la producción agropecuaria y que son susceptibles de modificarse.

Obtención de la línea base

La línea base es el conjunto de valores obtenidos para las variables analizadas en el diagnóstico; representa el estado actual del agroecosistema. Cada valor es presentado en las unidades de medición correspondientes y es ponderado con un valor de 5 con el fin de graficar los indicadores en una escala de 0 a 10. La línea base permite comparar, en forma cuantitativa, el efecto de la intervención, generar información estadística confiable para el lugar de estudio y permite la representación gráfica del diagnóstico de la situación actual del agroecosistema.

Fase 3. Factores que afectan a la producción en el agroecosistema

Con base en la información recolectada y analizada para generar el diagnóstico y la línea base (Fase 2), se identifican los puntos críticos positivos y negativos de cada componente del agroecosistema con el objetivo de saber qué elementos funcionan bien y cuáles no antes de implementar estrategias de mejora en el sistema. En la medida de lo posible, los aspectos positivos deberán ser conservados y/o potencializados, y los negativos deberán corregirse para evitar que ocurran nuevamente en el sistema. Se propone considerar, al menos, factores ambientales, políticos, sociales y culturales, económicos, tecnológicos y de manejo agronómico (Tabla 3). Para cada uno de los factores se deben considerar las preguntas:

- ¿Cómo afecta al agroecosistema en estudio?
- ¿Es factible modificarlo? Considerar todos los factores de forma integral.
- ¿Cómo, cuándo y dónde modificarlo?

La Tabla 3 es utilizada por el investigador o grupo de investigadores para seleccionar los factores que se controlarán durante el diseño, la evaluación y la implementación de la intervención. Es importante, realizar las pruebas apoyándose en las metodologías, los métodos, las técnicas o las herramientas que proponen las ciencias básicas y las aplicadas. Esto es, hacer una metodología integral que permita el análisis del sistema, el diseño de la

solución, la evaluación y la implementación para mejora del agroecosistema. Asimismo, se recomienda la integración de un grupo de trabajo inter y multidisciplinario formado por especialistas de las áreas donde incidirá la investigación para tener una visión fidedigna del estudio, así como la aprobación del diagnóstico y las estrategias de mejora por parte de los productores agropecuarios mediante una reunión plenaria. Todo esto permitirá estar de acuerdo y dirigir los trabajos hacia un objetivo común para el mejoramiento participativo del sistema.

Lo anterior ayuda a verificar que el diagnóstico y las estrategias están bien diseñadas, y garantiza la participación activa de los actores principales del sistema (productores, profesionales de cada disciplina, instituciones gubernamentales y privadas e investigadores, entre otros).

Tabla 3. *Formulario para realizar la identificación de factores y puntos críticos positivos y negativos que afectan la producción en el agroecosistema de estudio*

<i>Factores</i>	<i>Ambientales</i>	<i>Políticos</i>	<i>Sociales y culturales</i>	<i>Económicos</i>	<i>Tecnológicos y de manejo</i>
Puntos críticos positivos					
¿Cómo afectan?					
¿Es factible modificarlos?					
Puntos críticos negativos					
¿Cómo afectan?					
¿Es factible modificarlos?					

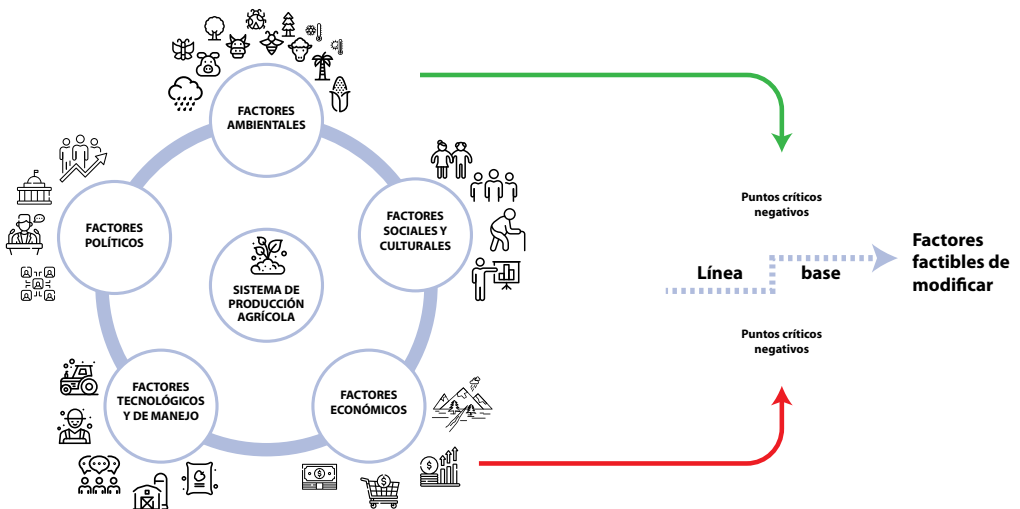
Selección de factores y niveles para evaluar en la intervención

Los factores de estudio potenciales deben seleccionarse considerando que sean factibles de modificarse y que sea posible fijarlos en distintos niveles (Figura 7). Esto con el fin de aprovechar al máximo la información analizada mediante las gráficas de contorno y las gráficas de superficie de respuesta. Se sugiere que los niveles estén igualmente espaciados y que se seleccione un rango que permita encontrar diferencias. Esta selección de factores y niveles debe tener un fundamento científico y tecnológico definido mediante la revisión de literatura científica y base de datos de protección intelectual (patentes, derechos de autor u obtentor, marca, dibujos y modelos indus-

triales, indicaciones de origen y secretos comerciales), resultados de experimentos previos *in situ*, o en condiciones similares, o conocimiento empírico evaluado y analizado.

Es importante considerar el espacio, el tiempo y los recursos humanos, económicos y ambientales disponibles para la intervención o la investigación. Para el diseño y la evaluación de la intervención es recomendable utilizar experimentos factoriales que permitirán optimizar y mejorar el proceso de forma eficiente en comparación con experimentos donde se modifica un factor y un nivel a la vez. Los experimentos factoriales permiten generar gráficas de contorno y superficies de respuesta que pueden facilitar el camino hacia la selección de los niveles óptimos en que debe operar cada factor. La información generada con un análisis factorial incluye los efectos principales y las interacciones de los factores estudiados; por tanto, hace posible un uso eficiente de los recursos en comparación con una estrategia unifactorial (Montgomery, 2016).

Figura 7. Fase 3: Identificación de los factores que afectan la producción del agroecosistema



Fuente: Domínguez (2018).

Fase 4. Diseño de la intervención

Presentación de resultados y selección de factores

Con la información obtenida en la Fase 3, se programará una reunión con los actores principales del agroecosistema. Será necesario incluir investigadores responsables del proyecto, participantes académicos, representantes de las instituciones educativas involucradas, productores cooperantes, autoridades y productores agropecuarios de la zona de estudio. En esta reunión, se presentarán los resultados de:

- Diagnóstico integral del sistema de producción agropecuaria.
- Línea base.
- Puntos críticos, positivos y negativos, del sistema de producción agropecuaria.
- Factores que son viables de modificar para la estrategia de mejora.

Una vez terminada la presentación de los resultados, los actores principales del agroecosistema determinarán si son o no aprobados por mayoría de votos; en caso de no ser aprobados, se reiniciará el proceso. Cuando los resultados se aprueben, se continuará con la planeación y la ejecución de mesas de trabajo conducidas por el investigador o grupo de investigadores responsables para seleccionar los factores de estudio que serán incluidos en el diseño de la intervención. Esto con el fin de garantizar un proceso de investigación sistémico y transdisciplinario (Figura 8).

Diseño experimental de la intervención

Para iniciar el diseño experimental de la intervención, todos los que participen deben tener, desde el principio, una idea clara de:

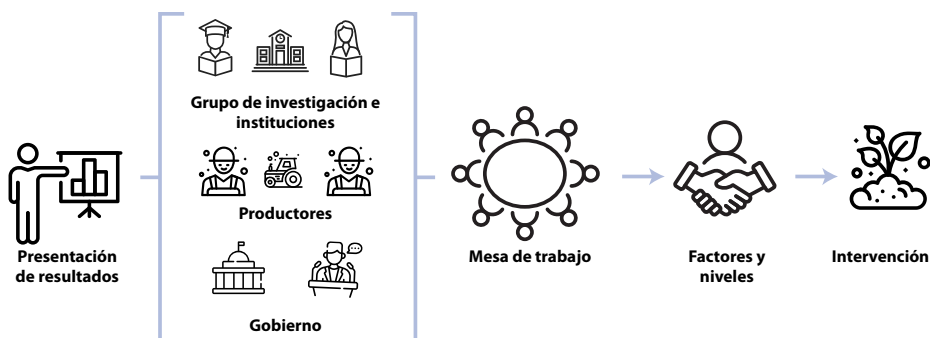
- ¿Qué es exactamente lo que se va a estudiar?
- ¿Cómo se van a coleccionar los datos?

- Al menos una comprensión cualitativa de la forma en que se van a analizar los datos.
- Comprensión de la interpretación estadística y específica de los resultados.

Una vez definida y consensada la intervención, es conveniente seguir los pasos generales para diseñar experimentos: 1. Elección de los factores y los niveles, 2. Selección de la variable o variables respuesta, 3. Elección del diseño experimental, 4. Establecimiento, conducción y manejo del experimento, y registro de las variables, 5. Análisis estadístico de los datos, y 6. Conclusiones y recomendaciones (Montgomery, 2016).

Es conveniente realizar la selección de los factores y niveles con base en la revisión de literatura científica y tecnológica, los resultados del diagnóstico realizado en la fase de trabajo de campo, los conocimientos científicos y prácticos del grupo de investigadores, y los conocimientos prácticos de los productores sobre el agroecosistema; es decir, considerando el resultado de la aplicación de las fases 1 a 3 de esta metodología.

Figura 8. Fase 4: *Proceso para el diseño de la intervención para la mejora del agroecosistema*



Fuente: Domínguez (2018).

Una vez definidos los factores y los niveles de cada uno se hace el diseño de tratamientos, cuyos efectos van a ser cuantificados y comparados. El tratamiento es el conjunto de condiciones experimentales que deben aplicarse a una unidad experimental (UE), la UE es un objeto o conjunto de objetos (plantas, semillas, granos, animales, entre otros) o espacio físico en

los cuales se aplica el tratamiento, se registran y analizan la o las variables que se desean investigar. Los experimentos pueden ser:

- *Comparativos simples.* Se comparan dos condiciones en las unidades experimentales llamadas tratamientos.
- *Con un solo factor.* Se tiene un solo factor (A) con dos o más niveles, con un total de t tratamientos.
- *Experimentos factoriales.* Se tienen dos o más factores (A y B) con 2 o más niveles (a y b), con un total de $a \times b =$ tratamientos.

Para contestar las preguntas ¿qué tratamientos seleccionar para evaluar?, ¿cuántos tratamientos evaluar?, ¿dónde se evaluarán los tratamientos y su distribución en condiciones de campo?, ¿cuándo los tratamientos serán evaluados?, ¿cómo se evaluarán los tratamientos?, entre otras, es necesario considerar los siguientes aspectos:

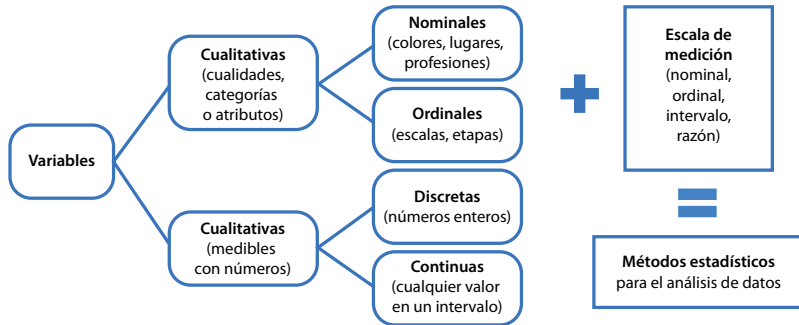
- Contexto y fundamento de la investigación sobre el agroecosistema.
- Recursos naturales, humanos, financieros e infraestructura disponibles, entre otros.
- Marco teórico y metodológico para llevar a cabo la evaluación.

Con base en la información anterior, el grupo de investigadores y los actores principales del agroecosistema deciden, de común acuerdo, el número de tratamientos para evaluar.

En seguida, se seleccionarán las variables de respuesta y la forma en que serán medidas. Las variables deben proporcionar información confiable sobre el problema de investigación. Para ello, se debe considerar el tipo de variable y la escala de medición, así como los métodos estadísticos que se emplearán para el análisis de los datos. Una variable, es una característica observable que cambia entre los diferentes individuos de una población; se clasifican en: cualitativas y cuantitativas. Las cualitativas se dividen en nominales, que clasifican en una categoría sin importar un orden; y en ordinales, que se caracterizan porque sus valores tienen un orden. Las cuantitativas son discretas, toman valores en la escala de los

números enteros; y continuas, asumen cualquier valor en algún intervalo de números reales (Figura 9) (Walpole *et al.*, 1999).

Figura 9. Importancia de la selección del tipo de variables, escalas de medición y métodos estadísticos de análisis de datos en el diseño de la intervención



La escala de medición es el grado de precisión con que se expresa la medida de una variable, las escalas de medición se clasifican en: 1. Nominal, solo diferencia en igualdad y desigualdad; 2. Ordinal, determina lo mayor, lo igual y lo menor; 3. Intervalo, determina la diferencia entre dos puntos; y 4. De razón, determina la diferencia entre dos puntos cualesquiera y un cero único (Stevens, 1946) (Figura 9). Los datos provenientes del uso de una escala de medición nominal pueden ser analizados apropiadamente por porcentajes, moda y X^2 ; mientras que, los datos registrados con una escala de razón pueden analizarse con todos los métodos estadísticos paramétricos (Walpole *et al.*, 1999).

Con base en los factores, niveles y variables de respuesta seleccionados, se define el diseño experimental a utilizar, así como el arreglo de las unidades experimentales en campo. El diseño experimental es una estructura de investigación donde al menos se manipula o controla uno o más factores, diferente nivel o niveles del factor y las UE son asignadas aleatoriamente. Esto permite obtener mayor cantidad de información válida acerca de la investigación con el uso eficiente de los métodos para disminuir el error. El grado de precisión de los diseños experimentales está definido por el número de factores de bloqueo, desde cero, para el diseño completamente al azar, hasta mayor a tres con el diseño de cuadrados latinos mutuamente ortogonales.

El bloqueo permite identificar factores que pueden afectar la variable de respuesta, pero que no son de interés para la investigación, sin embargo, deben controlarse para no tener efectos confundidos; por ejemplo, la fertilidad y la pendiente del suelo, la disponibilidad de agua, la presencia de árboles alrededor, entre otros. Cada bloque está formado por un grupo de unidades experimentales homogéneas para una o más características que podrían afectar la variable respuesta. Una vez que se han identificado los factores de bloqueo se pueden utilizar (Montgomery, 2016):

- Diseño de bloques al azar con un factor de bloqueo: diseño de bloques completos aleatorizados, generalizados, incompletos, incompletos balanceado y látice.
- Diseño tipo cuadrado latino con dos factores de bloqueo: diseño cuadrado latino, rectángulo latino, cuadrado de Youden y *crossover*.
- Diseño cuadrado grecolatino con tres factores de bloqueo.

Una vez elegido el diseño experimental, se debe hacer la aleatorización de los bloques y de los tratamientos dentro de cada bloque, para finalmente llevar a cabo la numeración consecutiva y descripción de las unidades experimentales. Es conveniente hacer un croquis detallado de la distribución de las UE en el campo, considerando las características fisicoquímicas, el relieve del suelo y el entorno en el sitio de evaluación. Esto facilita el establecimiento, conducción y manejo del experimento o intervención.

En la planeación del trabajo experimental debe incluirse un libro de trabajo de campo que contenga la información de cada prueba a realizar, el orden en que se llevará a cabo el trabajo experimental, la forma en que se medirán los resultados y cómo se coleccionarán los datos, el listado de nombres de los responsables del proyecto y los participantes especificando las actividades que realizará cada uno, las instrucciones detalladas para la realización de cada prueba donde se incluyan los días en que se tomarán los datos, los materiales a utilizar y los instrumentos de medición, así como las acciones a realizar si se presenta alguna contingencia (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

El libro de trabajo de campo puede ser físico o digital; algunos digitales se pueden adquirir en el mercado o bien, se puede construir una base de

datos en Excel. En un libro de Excel, se pueden generar hojas, cada una con la siguiente información:

- Portada, que contenga logotipos, nombres y responsabilidades de los actores principales del agroecosistema involucrados en la intervención, así como, nombre de la intervención.
- Diseño de la intervención con los factores, niveles de factor, tratamientos, diseño experimental, aleatorización e instrucciones para la preparación de los insumos y actividades para el establecimiento del experimento, como preparación del terreno, semillas, fertilizantes químicos u orgánicos, agroquímicos, siembra, entre otros.
- Localización y distribución de la intervención (croquis), se debe hacer un plano detallado de la distribución de las unidades experimentales con puntos de localización, de tal manera que cualquiera pueda identificar las UE.
- Manejo agronómico, involucra una bitácora sobre las actividades en la producción. Desde la preparación del terreno, siembra, cultivos, control de malezas, plagas y enfermedades, cosecha y poscosecha.
- Formato para registrar los datos en función del diseño experimental (Tabla 4), que permita registrar los datos y exportarlos a un *software* estadístico para su análisis.
- Análisis estadístico y su procesamiento y presentación en tablas y gráficas (figuras) para hacer el reporte.

Tabla 4. *Formato propuesto para registrar los datos de las variables durante la evaluación de la intervención*

Nombre de la evaluación								
Localidad, municipio, estado y fecha								
No. UE o parcela	No. Trat	Factor A	Factor B	Descripción del tratamiento	Bloque	Variable 1	Variable 2	Variable ... n
1								
2								
...								
n								

Nota: UE=Unidad Experimental, Trat=Tratamiento.

Fase 5. Diseño de formularios para evaluación de la intervención

El grupo de investigación diseñará los formularios que serán utilizados por los actores del sistema durante la fase de establecimiento y obtención de registros. Se propone utilizar al menos los siguientes:

1. *Carta compromiso del productor cooperante.* Debe contener el nombre del productor, manifestar el interés de participar en el proyecto y debe establecer el compromiso de participación en las actividades inherentes al manejo agronómico, el permiso para el monitoreo, muestreo y toma de datos durante el ciclo de producción.
2. *Bitácora para registro de actividades en la unidad de producción:*
 - (a) Información general del productor cooperante: nombre, dirección, edad, escolaridad.
 - (b) Información de la unidad de producción: ubicación geográfica, superficie, tenencia de la tierra, relieve, tipo de suelo.
 - (c) Registro para actividades dentro de la parcela: se propone el formulario presentado en la Tabla 5, es posible adaptarlos al sistema de producción que se esté analizando. El formulario debe ser llenado por el productor cooperante y verificado por el investigador responsable.
3. *Bitácora para registro de las actividades experimentales.* Debe contener las actividades realizadas y los datos experimentales obtenidos en las mediciones. Para cada actividad será necesario incluir: nombre de la persona que realizó, fecha, lugar de realización, equipo y/o material utilizado, así como, los valores obtenidos.

Fase 6. Capacitación para establecimiento de las unidades de producción demostrativas y la obtención de registros

El grupo de investigación organizará un taller de capacitación con los participantes académicos y los productores cooperantes. El objetivo será que los actores del sistema se familiaricen con el llenado de formularios y la

forma en que se establecerán las unidades de producción demostrativas. Este evento debe realizarse antes de que inicien las actividades para el establecimiento de las parcelas en las que se evaluará la intervención.

Fase 7. Establecimiento de la intervención

Los productores cooperantes, apoyados por el grupo de investigación, establecerán las unidades de producción demostrativas siguiendo las pautas establecidas en el taller de capacitación desarrollado en la Fase 6.

Es importante, considerar que la intervención debe probarse por lo menos en dos ciclos de producción con el fin de tener un rango más amplio de condiciones en las que se pueda aplicar.

Fase 8. Monitoreo de la intervención

Las unidades de producción demostrativas serán monitoreadas por el grupo de investigación, al menos en la etapa inicial, intermedia y al final del ciclo. Asimismo, es necesario establecer formas de contacto (teléfonos, celulares, correo electrónico) entre los actores del sistema con el fin de resolver situaciones no previstas. El grupo de investigación debe contar con disponibilidad para acudir a las unidades demostrativas, si es que fuera necesario.

Fase 9. Colecta de datos experimentales y registros de la intervención

El grupo de investigación acudirá al final del ciclo de producción para coleccionar los datos experimentales que permitan medir las variables de respuesta que fueron consideradas en el diseño. Para ello, será necesario preparar

Tabla 5. Formulario para el registro de actividades en la parcela

Preparación del terreno					
Actividad	Fecha	Costo por hectárea	Número de personas empleadas	Costo del jornal	Equipo o maquinaria utilizado
Siembra					
Fecha	kg de semilla utilizados	Costo por kg de semilla	Variedad	Siembra manual o mecánica	Número de personas empleadas
				Costo por hectárea	Costo por jornal
					Costo por hectárea
Labores culturales					
Número	Fecha	Equipo o maquinaria utilizado	Costo por hectárea	Número de personas empleadas	Costo por jornal
1					
2					
3					
Fertilización					
Número	Fecha de aplicación	Fertilizantes y/o abonos orgánicos	Etapas del cultivo	Cantidad/ha	Costo del fertilizante/ha
					Costo de aplicación
1					
2					
3					

Control de maleza						
Número	Fecha de aplicación	Herbicida	Etapas del cultivo	Cantidad/ha	Costo del herbicida/ha	Costo de aplicación
1						
2						
Control de plagas						
Número	Fecha de aplicación	Insecticida	Etapas del cultivo	Cantidad/ha	Costo del insecticida/ha	Costo de aplicación
1						
2						
Control de enfermedades						
Número	Fecha de aplicación	Fungicida	Etapas del cultivo	Cantidad/ha	Costo del insecticida/ha	Costo de aplicación
1						
2						
Riego						
Número	Fecha de aplicación	Estado del cultivo	Cantidad de agua (horas/ha)	Costo del agua (hora)	Costo total del agua/ha	Costo de aplicación
1						
2						
3						
Cosecha						
Actividad	Fecha	Equipo propio/rentado	Costo/ha	Número de jornales	Costo de jornal	Costo total

previamente los materiales a utilizar y confirmar la fecha y hora en que se llevará a cabo la medición.

Una vez que finalice la colecta, los investigadores y participantes académicos deben capturar los datos en una base de datos diseñada previamente. Es importante, mantener un registro físico o electrónico con el fin de realizar trazabilidad y conservar evidencia del trabajo realizado. Los registros originales de las actividades en la unidad demostrativa deben devolverse a los productores cooperantes.

Fase 10. Análisis de datos experimentales

Los resultados obtenidos después de la aplicación de la intervención deben ser analizados considerando los métodos propuestos por las ciencias aplicadas utilizadas. Además, deberán ser procesados estadísticamente con el fin de determinar posibles diferencias derivadas de la modificación de los factores y niveles considerados en la investigación. El análisis debe proporcionar certeza de que los resultados son confiables para poder emitir conclusiones válidas. Se recomienda utilizar medidas de tendencia central, frecuencias, medidas de dispersión, análisis de varianza y técnicas multivariantes como el Análisis de Componentes Principales y el Análisis de Clúster.

La evaluación, además del rigor estadístico antes mencionado, requiere el análisis basado en una metodología multidimensional con el fin de presentar los resultados con una visión holística.

Los resultados obtenidos deben presentarse en forma de indicadores con el fin de compararlos con la línea base obtenida en la Fase 2. Este análisis permitirá determinar cuál fue el resultado de la aplicación de la intervención en cada una de las dimensiones evaluadas.

Fase 11. Integración y presentación de los resultados

Los resultados deben integrarse con el objetivo de explicar los cambios obtenidos desde una perspectiva multidimensional. La presentación debe ha-

cerse orientada a generar documentos en formato científico y otros acuerdos con el nivel detectado para la población objetivo.

Es importante, contar con retroalimentación de los actores durante todo el proceso con el fin de garantizar que la intervención, en caso de ser exitosa, puede ser aplicada y conducirá a la mejora de la situación. A partir del segundo año, la metodología puede aplicarse desde la Fase 3, una vez concluido el tercer año puede aplicarse nuevamente.

3. Aplicación de la metodología en el agroecosistema maíz

Fase 1. Definición del objeto de estudio

Ahuazotepec es un municipio del estado de Puebla. Tiene una superficie de 110.99 km² y se localiza en la parte centro-oeste del estado; sus coordenadas geográficas son: 20° 00' 06" – 20° 07' 06" de latitud norte, y 98° 03' 42" – 98° 10' 24" de longitud oeste. El municipio colinda al norte con Huauchinango, al sur y oeste con Zacatlán y al este con el estado de Hidalgo. La altura sobre el nivel del mar es de 2 280 m (INEGI, 2014b).

La población total en el Municipio de Ahuazotepec, de acuerdo con el censo de población y vivienda 2010, es de 10 457 habitantes; 5 127 son hombres y 5 330 son mujeres. El 67.6% se considera población económicamente activa (PEA), 39.2% realiza actividades relacionadas con el sector primario; la población restante está comprendida en la industria manufacturera con 29.4%, en el comercio con 13.5% y la construcción 13%; el resto de la población realiza actividades no especificadas (INEGI, 2014b). En la Tabla 6 se presentan las características geográficas del municipio.

El INEGI (2014a) menciona que, en 2012, el área de riego representaba el 47.4% de la superficie; mientras que, la de temporal representa 52.6%, existen 1 806 ha que cuentan con mecanización, 63.1% del total municipal. En 2014, la superficie sembrada y cosechada en el municipio fue de 1 475 ha, de las cuales 1 241 fueron sembradas con maíz para grano (SIAP, 2015).

El valor de la producción de los principales cultivos fue de \$13 664 000;

la producción de maíz para grano fue de 2 245 toneladas, avena forrajera 131 t, cebada en verde 1 889 t y veza 138 t (SIAP, 2015). La producción forestal maderable, en metros cúbicos rollo es de 4 731 lo que representa un ingreso bruto de \$3 697 000 (INEGI, 2014b).

Tabla 6. Características fisiográficas, edáficas, hidrográficas y climáticas de Ahuazotepec, Puebla

AHUAZOTEPEC	
Fisiografía	Se ubica en la porción occidental de la Sierra de Puebla, que forma parte de la Sierra Madre Oriental.
Suelo	Andosol órtico de textura media, con potencial de uso agrícola y pecuario; mecanizables.
Hidrografía	Ríos: Totolapa y Tlachinalco. Corrientes intermitentes: El Arroyo, Piedras Encimadas. 17 fuentes de abastecimiento provenientes de cinco pozos profundos y 12 manantiales, lo cual conforma la región hidrológica número 27.
Clima	C(m), templado húmedo, con abundantes lluvias en verano, con temperatura media anual de 14.4 °C, con máximas de 27.5 °C en el mes de abril y mínimas de hasta -6.6 °C en el mes de febrero, y una precipitación total anual de 1 064.9 mm.

Fuente: Elaboración propia (2019) a partir de datos del INEGI (2009).

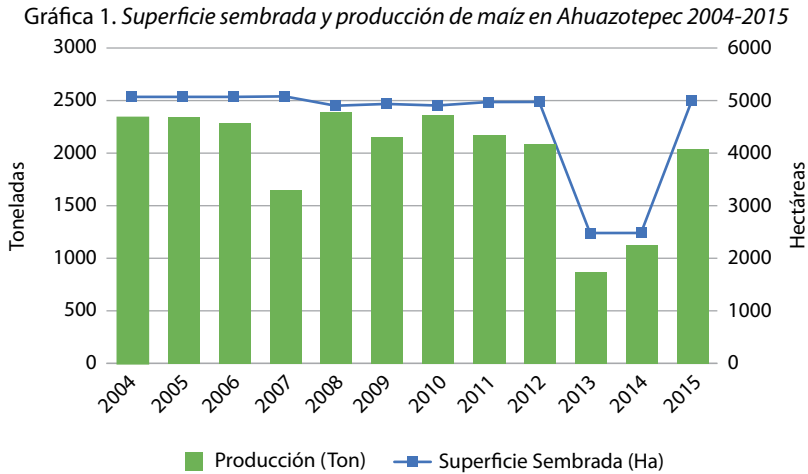
Vías de comunicación: se localiza sobre la carretera federal 119 México-Tuxpan, lo que permite acceso a centros de abasto regionales como Huauchinango, Zacatlán o Tulancingo y a ciudades como México, Pachuca y Puebla. Además, cuenta con una red de caminos vecinales que permiten comunicación con 18 comunidades aledañas a la cabecera municipal (INEGI, 2014b).

Comercio: existen cuatro unidades de comercio y abasto: dos tianguis, un mercado al aire libre y un centro receptor de productos básicos. En el municipio se tienen tres tortillerías y dos molinos de nixtamal, de acuerdo con información obtenida en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI (2014b), estas unidades están manejadas por menos de cinco personas y, de acuerdo con información obtenida directamente de los propietarios, cada tortillería procesa entre 300 y 500 kilogramos de maíz, lo que genera un promedio de 400 litros de nejayote diariamente.

El municipio de Ahuazotepec tiene una superficie agrícola de 2 834.6 ha, la superficie de temporal es de 1 476.5 hectáreas y la de riego es de 1 358.1 ha. En 2015, la producción de maíz para grano fue de 4 075 t, con rendimien-

to promedio de 1.6 t ha⁻¹ y se reporta un precio medio rural de \$4 500 por tonelada (SIAP, 2016).

En el periodo entre 2004 y 2015 (Gráfica 1), las tasas medias de crecimiento anual fueron negativas para la superficie sembrada (-0.11%), la producción (-1.2%) y el rendimiento (-1.14%); sin embargo, el precio medio rural por tonelada tuvo una tasa de crecimiento de 6.4%.



Fuente: Elaboración propia (2016) con datos de SIAP.

Fase 2. Diagnóstico de la situación actual del agroecosistema

Población objetivo

El estudio se centró en los productores de maíz del municipio de Ahuazotepec, Puebla, en la Sierra Norte de Puebla. La altura sobre el nivel del mar es de 2 280 m; sus suelos son caracterizados como Andosoles de textura media. El clima es templado húmedo con una temperatura media anual de 14.4 °C y precipitación promedio anual de 1 064.9 mm (INEGI, 2014). El tamaño de la muestra se determinó usando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(z^2 \sigma^2 N)}{((N-1) E^2 + z^2 \sigma^2)}$$

Donde n es el tamaño de la muestra, z es la puntuación normal, σ es la desviación estándar, N es el tamaño de la población y E es el error de estimación (Badii *et al.*, 2008). Considerando el número total de productores ($N = 348$) y la varianza poblacional para el rendimiento de grano ($\sigma^2 = 2.03$) obtenida a partir de una muestra piloto. El tamaño de la muestra fue de 100 productores, 28.7% del total. Los productores incluidos en el estudio fueron seleccionados aleatoriamente de los registros disponibles en las oficinas del gobierno municipal.

Tipificación de los productores

Para recolectar los datos necesarios para la clasificación de los productores de la muestra, se diseñó una encuesta con preguntas agrupadas en seis secciones: información general sobre el productor, escolaridad, información económica, tenencia de la tierra e información de campo y prácticas de producción de maíz. La encuesta se aplicó a los agricultores seleccionados entre diciembre de 2015 y febrero de 2016. La información así recogida se procesó y se generó una base de datos utilizando Microsoft Access 2013 (Microsoft Corp., Redmond, Wash) para simplificar su manejo. El tratamiento de los registros se realizó utilizando estadística descriptiva para obtener las observaciones que se utilizaron en los siguientes análisis.

Posteriormente, las variables utilizadas para construir los conglomerados se seleccionaron mediante un análisis de componentes principales, para reducir la dimensionalidad del sistema y facilitar la interpretación, visualización y comprensión de las interacciones entre las observaciones o variables (Sokal, 1977). Las variables seleccionadas: educación, ingreso total y rendimiento de maíz fueron estandarizadas para propósitos de comparación.

Se utilizó un análisis de conglomerados para establecer la tipología de los sistemas de producción en el municipio de Ahuazotepec, Puebla (Sokal, 1977; Berdegué *et al.*, 1990; Köbrich *et al.*, 2003). Los modelos de agrupación jerárquica se crearon utilizando el método de distancia euclidiana para encontrar la distancia entre las observaciones y el criterio de Ward para optimizar la varianza mínima dentro de los grupos (Berdegué *et al.*, 1990; Köbrich *et al.*, 2003). Este análisis permite integrar y caracterizar las

observaciones dentro de cada grupo, y luego obtener las medias y porcentajes de las variables estudiadas (Han *et al.*, 2012). El proceso de tipificación y todos los análisis estadísticos se realizaron en el *software* Minitab 17 (Minitab Inc., State College, PA, EE.UU.).

Tipología de los productores de maíz

El análisis de clúster clasificó a los productores de maíz de Ahuazotepic, Puebla, en tres grupos: a cada uno se le asignó un nombre acorde con el sistema de producción que manejan, las tecnologías que utilizan y el rendimiento de maíz; estos grupos fueron Tradicional Bajo (TB), Tradicional Medio (TM) y Transición (Tr).

Clúster Tradicional Bajo

En el grupo se encuentra la mayoría de los productores encuestados (55%), tienen edad promedio de 57 años, viven en localidades con alto grado de marginación lo que se refleja en el nivel de estudios (40% tiene primaria incompleta y 16.4% no reporta escolaridad); el porcentaje de analfabetismo del grupo, que es de 14.5, supera la media municipal reportada como 12.92%. El nivel de ingresos máximo es de \$120.00 por día que es un ingreso máximo de \$3 600 mensuales. Las unidades de producción tienen un tamaño promedio de 2.3 ha y se clasifican como ejido; sin embargo, 40 productores tienen superficies menores o iguales a 2 ha; únicamente 29.1% de los productores pertenece a un módulo de riego lo que les brinda la posibilidad de aplicar un riego antes de la siembra 70.9% produce bajo condiciones de temporal.

El rendimiento de grano promedio es de 1.55 t ha⁻¹ y se utilizan variedades criollas que los productores siembran por la disponibilidad y por el sabor que se obtiene al procesarlo para elaborar tortillas. Si bien el rendimiento es menor que la media municipal, es importante mencionar que en estas unidades de producción se siembra al menos un cultivo adicional al maíz, generalmente frijol, avena o forraje aportando diversidad a la parcela.

Los productores aplican estiércol o arena para mejorar sus suelos, también se utilizan fertilizantes químicos y herbicidas. Además de la agricultura, los productores realizan ganadería de traspatio, la mitad reporta promedio de cuatro cabezas de ganado, principalmente ovinos y bovinos, que mantienen para autoconsumo y, eventualmente, para su venta en mercados locales.

Clúster Tradicional Medio

Este clúster agrupa a 41% de los productores encuestados, la edad promedio fue 59 años, con primaria completa (61%), únicamente 4% no saben leer ni escribir. El tamaño promedio de la unidad de producción es de 3.5 ha y se reporta un ingreso mensual de entre \$3 600 y \$7 200; 70% tiene en promedio seis cabezas de ganado.

El rendimiento promedio de grano de $1.66 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, con manejo agronómico del cultivo, es similar al grupo Tradicional Bajo. Esto es, preparación del terreno en forma mecánica, siembra manual con dos o tres semillas por mata, fertilización con urea, control de maleza con yunta y herbicidas y cosecha manual; usan semilla de maíz criolla debido a la disponibilidad en el municipio y porque no genera costos para el productor. El 58.5% de las unidades de producción pertenece al ejido y únicamente 21% forma parte de un módulo de riego como una forma de organización.

Clúster Transición

Está integrado por 4% de los productores encuestados, tiene el mayor nivel de escolaridad (100% tiene primaria completa y no hay analfabetismo), el ingreso máximo es de hasta \$400 por día y la edad promedio es de 56 años. Además de realizar actividades agrícolas, se dedican a la ganadería; tienen en promedio 15 cabezas de ganado para producir leche o para venta en mercados locales. Utilizan mano de obra contratada en forma permanente y han recibido asesoría técnica para la producción de maíz o el manejo de ganado. El manejo agronómico del cultivo fue similar a los clústeres tradicionales; sin embargo, sólo 50% de los productores utilizan semillas de va-

riedades mejoradas y 25%, además, practica la labranza de conservación y aplica micorrizas. Las unidades de producción tienen un tamaño promedio de 4.5 ha, de las cuales únicamente 25% está clasificada como ejido y pertenece al módulo de riego. El rendimiento promedio fue de 3.73 t ha⁻¹. El 75% practica el monocultivo y no aplica estiércol.

Obtención de la línea base

La evaluación del agroecosistema maíz se realizó mediante 16 indicadores agrupados en tres dimensiones de sustentabilidad. Con los resultados obtenidos, los indicadores fueron ponderados en una escala de 0 a 10 con respecto al valor de referencia para generar un diagrama de AMIBA, que constituye la representación gráfica de la sustentabilidad del sistema (véase la Tabla 7).

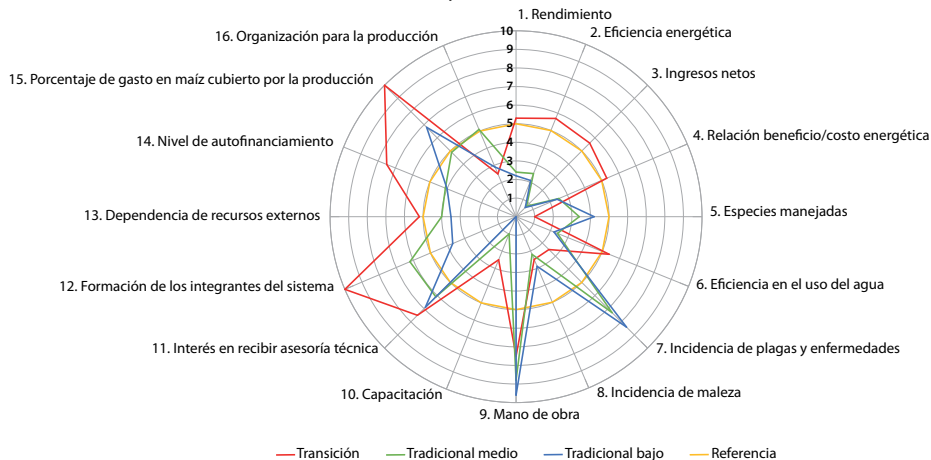
Las tres gráficas radiales, o AMIBAS, corresponden a los clústeres evaluados y muestran, de acuerdo con los resultados mencionados en las secciones anteriores, si los indicadores de cada grupo han alcanzado el mejor valor posible (en este estudio, 10) o si alcanzaron el valor de referencia (con un valor de 5). Los atributos de sustentabilidad agrupan los indicadores como sigue: productividad (indicadores 1 al 4), estabilidad, resiliencia y confiabilidad (5 al 8), adaptabilidad (9 al 11) y autogestión (12 al 16). Las calificaciones generales de sustentabilidad son: 3.9 para el clúster Tradicional Bajo, 4 para el Tradicional Medio y 5.4 para el de Transición (Gráfica 2).

Tabla 7. Indicadores económicos, ambientales y sociales con las unidades de referencia utilizadas para el análisis de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla, 2015

Atributo	Indicador	Medición	Unidad de referencia
Productividad	Rendimiento de grano	Encuesta: t ha ⁻¹ producidas	3.5 t ha ⁻¹ (SIAP, 2016)
	Eficiencia energética	Estimación: MJ producidos/MJ consumidos	4.55
	Ingreso neto	Estimación: Ingreso bruto – Costos totales de producción	\$ 9857.7
	Tasa Beneficio/costo	Beneficios totales / Costos de producción totales	2.5
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	Diversidad de especies cultivadas	Índice de Shannon $H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log p_i$ Dónde: H' es el índice de Shannon y pi es el número de cultivos en la parcela	H' = 1 (Dalsgaard, Lightfoot y Christensen, 1995)
	Eficiencia en el uso del agua	Rendimiento de grano/ agua utilizada Considerando la precipitación media obtenida por datos climáticos de Ahuazotepec.	0.37 kg· m ⁻³
	Incidencia de plagas	Encuesta: número de productores que reportan incidencia de plagas en su parcela	50% sin incidencia de plagas
	Incidencia de maleza	Encuesta: número de productores que reportan incidencia de maleza en su parcela	50% sin incidencia de maleza
Adaptabilidad	Mano de obra familiar no remunerada y participación del productor	Encuesta: número de productores que utilizan mano de obra familiar y participan en la producción	50% mano de obra familiar y participación del productor
	Asesoría técnica recibida	Encuesta: número de productores que han recibido asesoría técnica	50% han recibido asesoría técnica
Adaptabilidad	Interés en recibir asesoría técnica	Encuesta: número de productores interesados en recibir asesoría	50% de los productores interesados en recibir asesoría
Autogestión	Alfabetismo	Encuesta: número de productores alfabetas	87.08% valor medio municipal de alfabetismo
	Dependencia de insumos externos (DIE)	DIE=(Costo de insumos externos/Costo total de insumos)*100	62.7% (DIE con rendimiento promedio)
	Nivel de autofinanciamiento (AF)	AF=(Subsidio gubernamental/Costos totales de producción)*100	50% de los productores se autofinancian
	Autosuficiencia de maíz	Estimación: número de productores que producen ≥ 1188 kg (consumo anual para una familia de 4 personas)	50% de los productores satisfacen sus necesidades de maíz
	Organización de productores	Encuesta: número de productores que están asociados	50% de los productores forman parte de una organización

Fuente: Elaboración propia (2016).

Gráfica 2. Diagrama de AMIBA para los indicadores de sustentabilidad medidos en los tres clústeres de Ahuazotepec, Puebla, 2015



Nota: Los atributos de sustentabilidad agrupan los indicadores como sigue: Productividad (indicadores 1 al 4), Estabilidad, resiliencia y confiabilidad (5 al 8), Adaptabilidad (9 al 11) y Autogestión (12 al 16).

Fase 3. Factores que afectan a la producción

Dimensión económica

Los valores obtenidos para los indicadores económicos de los clústeres Tradicional Bajo y Tradicional Medio no alcanzan los valores de referencia, mientras que en el clúster de Transición los valores son marginalmente mayores (Tabla 8). Esto puede explicarse por los rendimientos obtenidos, que son la base para calcular los indicadores de ingresos netos y de beneficio/costo. Los rendimientos de grano reportados en la sección anterior para los clústeres TB y TM, una vez transformados en sus valores monetarios, representan un ingreso neto que, en ambos casos, es menor a lo que se podría obtener considerando el rendimiento promedio nacional de 3.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2016). A pesar de que los costos de producción en los tres clústeres son similares (TB = \$5 957.4, TM = \$6 301.3, Tr = \$6 543.8), los mayores rendimientos del clúster Tr producen un ingreso neto considerablemente mayor. Esto también significa una mayor relación beneficio-costo para el

grupo de Transición, ya que los productores en él obtienen más dinero por cada peso invertido (Tabla 8).

Tabla 8. Valores agrupados por clúster para los indicadores económicos seleccionados utilizados para el análisis de sustentabilidad MESMIS del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla, 2015

<i>Indicadores</i>	<i>Tradicional Bajo</i>	<i>Tradicional Medio</i>	<i>Transición</i>
Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	1.55	1.66	3.73
Eficiencia energética	1.94	2.94	5.18
Ingreso neto (\$)	0.8	0.7	5.6
Relación beneficio/costo	1.22	1.23	2.67

Fuente: Elaboración propia (2016).

La eficiencia energética se calculó a partir de las unidades energéticas producidas por el grano y las de los insumos consumidos durante el ciclo de producción (Funes-Monzote, 2009; Gliessman, 1998; McLaughlin, 1999; Pimentel y Pimentel, 1996). De los insumos, el fertilizante químico representa la mayor parte de la energía utilizada en los clústeres Tradicionales (TB = 71% y TM = 73.7%) y el de Transición (67.3%); es el último grupo el de mayor eficiencia, ya que cada Mega Joule utilizado produce 4.18 MJ del maíz, en contraposición a los grupos TB y TM, donde la relación es prácticamente 1: 1 (Tabla 8).

Dimensión ambiental

Los indicadores económicos contrastan con algunos de los indicadores ambientales mostrados en la Tabla 9. Los clústeres tradicionales obtuvieron mejores resultados que el grupo de Transición y con frecuencia tuvieron resultados por encima de los valores de referencia. Los dos clústeres tradicionales, en los que es usual tener cultivos adicionales al maíz, presentan mayor diversidad que el grupo Transición, donde 75% de las unidades de producción se caracterizan por el monocultivo. La misma tendencia se observó con respecto a la incidencia de plagas, ya que los productores de los

clústeres tradicionales reportaron una ocurrencia considerablemente menor que el grupo de Transición. La principal plaga reportada fue el frailecillo (*Macrodactylus mexicanus*). Con respecto a la incidencia de maleza, los tres grupos informaron sobre especies vegetales indeseables en las unidades de producción (más de 70% en todos los casos); la principal maleza fue el chayotillo (*Sicyos deppei* G. Don).

Tabla 9. Valores agrupados por clúster para los indicadores ambientales seleccionados utilizados para el análisis de sustentabilidad MESMIS del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla, 2015

Indicadores	Tradicional Bajo	Tradicional Medio	Transición
Diversidad de especies cultivadas (Índice de Shannon)	0.83	0.68	0.20
Eficiencia en el uso del agua (kg·m ⁻³)	0.16	0.18	0.40
Incidencia de plagas (%)	16.4	26.8	75
Incidencia de maleza (%)	70.9	78	75

Fuente: Elaboración propia (2016).

La eficiencia en el uso del agua se ve fuertemente afectada por los bajos rendimientos de grano de los grupos Tradicional Bajo y Tradicional Medio. El grupo de Transición utiliza 2.5 m³ de agua para producir un kilogramo de maíz, lo que representa entre 40 y 45% del volumen de agua utilizado por los otros grupos.

Dimensión social

La dimensión social es la que muestra una mayor variabilidad entre los sub-sistemas o clústeres. Los productores del grupo TR suelen poseer algún tipo de instalación de almacenamiento de grano y/o maquinaria y equipo agrícola para ayudar en la producción y pueden contratar mano de obra para sustituir el trabajo familiar no remunerado; esto contrasta con los clústeres TB y TM, en los que menos de 28% posee equipos y/o infraestructura, pero sus productores participan más activamente en las actividades agrícolas. Como puede observarse en la Tabla 10, los productores del grupo Tradicio-

nal Bajo muestran la mayor implicación en la producción de maíz, con más de 90% del trabajo realizado por el productor y sus familiares.

Los encuestados expresaron interés en recibir asesoría técnica para aumentar la producción de maíz (Tabla 10). Además, parece que una vez que algunos productores reciben asesoría, se interesan más en adquirir conocimientos. Esto podría ser crítico para mejorar las prácticas agrícolas en el municipio, ya que las actuales de fertilización y control de maleza hacen que los productores dependan más de insumos externos, reduciendo así la rentabilidad de su clúster. En los grupos TM y TR, donde al menos 9.7% de los productores han recibido asesoría técnica; el uso de herbicidas y urea se reduce y el valor de dependencia de los insumos externos es menor (Tabla 10).

Tabla 10. Valores agrupados por clúster para los indicadores sociales utilizados en el análisis de sustentabilidad MESMIS del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla, 2015

<i>Indicadores</i>	<i>Tradicional Bajo</i>	<i>Tradicional Medio</i>	<i>Transición</i>
Mano de obra familiar no remunerada y participación del productor (%)	96.4	87.8	75
Asesoría técnica recibida (%)	0	9.7	25
Interés en recibir asesoría técnica (%)	69	61	75
Alfabetismo (%)	83.6	90.3	100
Dependencia de insumos externos (%)	64.9	59.7	47.7
Nivel de autofinanciamiento (%)	40	41.4	75
Autosuficiencia de maíz (%)	68.3	49.1	100
Organización de productores (%)	29.1	51.2	25

Fuente: Elaboración propia (2016).

El nivel de autofinanciamiento es inferior a 50% en los clústeres Tradicionales, ya que la mayoría de los productores reciben subsidios gubernamentales, en contraposición al clúster Transición, donde sólo 25% de los productores reciben PROAGRO. Sólo hay una estructura organizativa disponible para los productores: el módulo de riego, cuya única función es dar acceso ordenado a las fuentes de agua; aun así, la mayoría de los productores de los grupos Transición y Tradicional Bajo no son miembros del mismo (Tabla 10). Esta aparente limitación puede superarse con mayores ingresos.

De hecho, al menos 50% de los productores del grupo de Transición puede acceder al agua sin pertenecer al módulo (es decir, bombeando agua de las corrientes de agua cercanas), en caso de que lo necesiten.

El rendimiento de los granos afecta directamente a la autosuficiencia alimentaria de los clústeres menos productivos, ya que no todos los productores pueden satisfacer los requisitos de una familia de cuatro miembros (Tabla 10).

La productividad fue el atributo que más afectó la sustentabilidad de los tres grupos, ya que el rendimiento de los granos determinó la eficiencia con que se asignaron los recursos de producción (fertilizantes químicos, agua y energía). En la Gráfica 2 es posible ver cómo los indicadores de productividad se comparan con el valor de referencia y el mejor valor posible.

La productividad define el porcentaje de ingresos del productor originado por la producción de maíz, que en todos los grupos fue inferior a 10%. Estos resultados coinciden con los hallazgos presentados en estudios sobre la producción periurbana y rural de maíz (Ayala *et al.*, 2013; Lerner *et al.*, 2013). La baja productividad también pone en peligro la autosuficiencia alimentaria: más de 30% de los productores de los grupos de TB y TM no pueden cubrir las necesidades básicas de grano en sus familias. Esto a menudo significa que los productores y sus familias se convierten en compradores netos de sustitutos de grano de menor calidad (variedades importadas), nixtamal y tortillas (Van-Dusen y Taylor, 2005).

A partir del análisis MESMIS, se identificaron dos puntos críticos para la productividad: el primero fue la fertilización química y el segundo fue control de malezas, ambos representan entre 31.7% y 41.9% de los costos de producción en los conglomerados. La urea es el fertilizante más utilizado, aplicado en 94% de las unidades de producción, sin embargo, la aplicación se hace sin información sobre los requerimientos del cultivo o la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El uso de herbicidas también se hace sin seguir las instrucciones del producto. A menudo, los productores aplican el producto cuando la altura de la planta de maleza es de 20 cm y no necesariamente garantiza una humedad adecuada del suelo, lo que podría reducir seriamente la efectividad de la sustancia. Además, dos veces durante el ciclo de producción, la mayoría de los productores tradicionales realizan cultivos con yunta lo que puede eliminar la maleza mecánicamente, esto hace que la aplicación del herbicida sea una actividad costosa y redundante.

El aumento de la productividad es un objetivo común de la agricultura. La mayoría de las veces, lograr esto implica un mayor uso de agroquímicos, nuevas tecnologías de riego y mejoramiento genético de las semillas (Chávez y Arriaga, 1999; Ruttan, 2002; Tilman *et al.*, 2002; Fantin *et al.*, 2017). Pero la aplicación de tales enfoques es limitada en las zonas altamente marginadas por razones monetarias; de hecho, sólo 2% de los productores de Ahuazotepec utiliza algunas de estas tecnologías (específicamente semillas híbridas).

Curiosamente, hubo productores que reportaron rendimientos por encima de $4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ aun usando semillas criollas y algunas de las prácticas de producción descritas para los grupos Tradicionales Bajo y Medio. Gil-Muñoz *et al.* (2004) reportan rendimientos similares para las variedades criollas en el estado de Puebla, lo que podría explicar por qué las variedades autóctonas están adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas del sitio, lo que puede representar una ventaja sobre las variedades híbridas. Con base en esto, las semillas no son un factor limitante del sistema, y podría ser posible aumentar el rendimiento del maíz e incluso superar la media nacional (3.5 Mg ha^{-1}) sin adoptar una tecnología costosa.

Se dice que las prácticas tradicionales para la producción de maíz siguen patrones que pueden considerarse ambientalmente sustentables (Gliessman, 2015), y esto podría ser el caso de las unidades de alta producción mencionadas anteriormente en Ahuazotepec. El rasgo común entre ellos fue el uso de estiércol como fertilizante y una adecuada eliminación de las malas hierbas. Se ha demostrado que la aplicación de estiércol al suelo mejora su capacidad de retención de agua, reduce la incidencia de maleza, previene la erosión y favorece los aumentos de rendimiento (Capulín-Grande *et al.*, 2001; Parsons *et al.*, 2009; Miron *et al.*, 2011). Con respecto a la densidad de las plantas, las unidades tradicionales de alta producción no plantan maíz en matas, sino que utilizan un enfoque similar al de la Transición, lo que lleva a tener entre 60 000 y 75 000 plantas por hectárea.

La combinación de estiércol y dosis bajas de fertilizante químico beneficia la actividad microbiana y aumenta la disponibilidad de carbono y nutrientes en el suelo (Liu *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2010), Sin embargo, la mayoría de los productores encuestados (independientemente del grupo) aplican urea en el momento de la siembra, cuando la planta tiene menor

capacidad para aprovechar nutrientes, aumentando así la probabilidad de pérdidas de fertilizante (Cheng *et al.*, 2015). Un enfoque más apropiado sería la aplicación de fertilizantes en múltiples ocasiones, en función de las necesidades y las etapas fenológicas de la planta, de hecho la mayor absorción de nitrógeno ocurre más tarde en la etapa vegetativa, cuando el cultivo crece más rápidamente (Krishna, 2013; Cheng *et al.*, 2015).

Otras características que aumentan la sustentabilidad ambiental de la producción tradicional de maíz (clústeres TB y TM) incluyen la presencia de más de un cultivo y la rotación de cultivos en la parcela (Arnés *et al.*, 2013; Vasileiadis *et al.*, 2013) Estas prácticas, que no están presentes en el clúster de Transición, también limitan su resiliencia y estabilidad, reduciendo su rentabilidad a largo plazo, aunque en la actualidad este grupo parece ser el más productivo.

El aumento de la eficiencia en el uso de agua y nutrientes también es crítico para incrementar la producción de manera sustentable (Mafongoya *et al.*, 2016). El grupo de Transición tiene un mejor desempeño en este indicador ambiental que los grupos tradicionales (Gráfica 2), aunque la mayoría de los productores de los grupos Tradicionales tienen acceso al agua del módulo de riego, optan por esperar la lluvia para realizar la siembra. Por lo tanto, la mayor eficiencia en el grupo TR puede ser consecuencia de una mejor planificación de las actividades en términos de los patrones de precipitación (Tilman *et al.*, 2002; Mafongoya *et al.*, 2016).

Independientemente de la ineficiencia de los sistemas tradicionales en algunos aspectos, estos pueden proporcionar servicios ecosistémicos (como la polinización y actuar como depósitos de la diversidad genética del maíz) que pueden ser difíciles de evaluar cuantitativamente (Tilman *et al.*, 2002), ya que no proporcionan beneficios tangibles para los productores. Esto podría suponer un riesgo para el agroecosistema tradicional del maíz en Ahuazotepec, ya que algunos productores podrían sentirse desalentados por la baja productividad y abandonar la producción de maíz o cambiar a enfoques menos sustentables para aumentar la producción. Es entonces importante que los gobiernos locales reconozcan los servicios ecosistémicos proporcionados por las prácticas tradicionales y alienten la adopción de prácticas de producción y conservación que sean rentables y sostenibles (Tilman *et al.*,

2002; Gliessman, 2015) a través de asesoría técnica y servicios que sean sensibles hacia este fin.

Otra posible limitación para la adopción de mejores prácticas de producción es la alta prevalencia del trabajo no remunerado. Los productores hacen lo que pueden para llevar a cabo las diferentes actividades agrícolas en sus unidades de producción, dependiendo en gran medida de la mano de obra familiar no remunerada, en particular de sus cónyuges e hijos menores, que sólo tienen tiempo limitado para contribuir (ya que también tienen trabajo doméstico o escolar propio). Esto significa que hay horas-hombre disponibles limitadas para adoptar cambios, tales como fertilizaciones múltiples y control de maleza, si no se contrata mano de obra adicional, lo que a su vez está limitado por la falta de recursos monetarios que prevalece en productores con baja productividad.

También se debe considerar el envejecimiento de los productores encuestados, ya que 46% tiene más de 60 años de edad ($T_B = 58.5\%$, $T_M = 43.6\%$, $T_r = 25\%$) y de esos, 47.8% son mayores de 70 años. La agricultura no es sólo una actividad de subsistencia, ya que está profundamente arraigada en la identidad de género, los valores y las tradiciones de los agricultores ancianos (Marotz-Baden *et al.*, 1995; Gullifer y Thompson, 2006). Hay un elemento de orgullo y un profundo vínculo emocional con el cultivo del maíz dentro de los productores más viejos de Ahuazotepec, lo que se hace evidente por su participación continua en actividades tradicionales, incluso las más exigentes físicamente, independientemente del beneficio económico que puedan obtener. Esto representa un peligro para su salud y bienestar, ya que la propensión a las lesiones aumenta en los agricultores mayores de 50 años de edad (Amshoff y Reed, 2005). Con la incertidumbre de que una generación más joven asuma el control, también existe un riesgo latente para los atributos de estabilidad, autosuficiencia y adaptabilidad del agroecosistema, e incluso para su existencia futura. Por lo tanto, se deben poner en práctica políticas y asesoramiento adecuados para asegurar una salida satisfactoria (es decir, la jubilación anticipada y la transferencia del terreno) o la continuación adecuada de las actividades de producción (Potter y Lobley, 1992; Pietola *et al.*, 2003; Amshoff y Reed, 2005).

De acuerdo con Valentín-Garrido *et al.* (2016), las actuales estrategias de subsidios para el campo (PROAGRO) no logran mejorar la sustentabilidad

económica (en términos de productividad) del sistema. En este estudio hemos probado esta especulación mediante una prueba de Tukey para establecer si había diferencias en el rendimiento de cada grupo por recibir o no subsidios para la producción. El análisis reveló que la presencia o ausencia de la subvención no hace una diferencia real ni estadística en los rendimientos obtenidos de ninguno de los grupos ($P > 0.05$). Sin embargo, se necesitan subsidios para cubrir parte de los costos de producción por hectárea en los clústeres TB (21.8%) y TM (20.6%), donde la mayor parte del maíz se dedica al autoconsumo y los márgenes de rentabilidad son bajos.

Para mejorar la productividad y el atributo de la autosuficiencia, es importante promover la organización de los productores y su participación activa. Actualmente, la única organización existente es el módulo de riego, que no tiene ningún efecto real en la productividad del sistema. Las organizaciones de agricultores reales, como las cooperativas de compra, formales o informales, con objetivos y medios claros son necesarias en el municipio. Se ha demostrado que las organizaciones campesinas facilitan el acceso a mejores precios de insumos y equipos e incluso para acceder a créditos para comprar maquinaria (Hellin *et al.*, 2009). Los agricultores organizados también pueden establecer un diálogo más eficaz con las autoridades locales, con lo que tienen mayor influencia en la aplicación de los recursos municipales, por ejemplo, para ampliar las estructuras de riego ya construidas para mejorar la eficiencia del uso del agua.

Con el análisis de los factores que afectan a la producción, se identificaron los puntos críticos positivos y negativos del sistema y se determinó si es factible modificarlos (Tabla 11).

Selección de factores y niveles para evaluar en la intervención

La evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz permitió identificar los puntos críticos positivos y negativos que lo afectan (Tabla 11). El atributo que tiene mayor efecto en la sustentabilidad es la productividad, por ello se determinó generar una propuesta de mejora que permitiera incrementarlo.

Tabla 11. *Formulario para identificación de factores que afectan a la producción*

Factores	Ambientales	Políticos	Sociales y culturales	Económicos	Tecnológicos y de manejo
Puntos críticos positivos			Mano de obra familiar. Interés por recibir asesoría técnica.		Uso de estiércol.
¿Cómo afectan al agroecosistema?	El productor controla la producción de maíz y es el único responsable de las modificaciones que en él sucedan.				
¿Es factible modificarlo?	Los productores de maíz tienen interés en recibir propuestas para mejorar la productividad de sus sistemas de producción, además participan activamente en las labores relacionadas con el cultivo. Algunos utilizan prácticas agroecológicas como el uso de estiércol, lo que favorece implementar mejoras con enfoque sustentable.				
Puntos críticos negativos	Incidencia de maleza, plagas y enfermedades.	Organización para la producción. Subsidios ineficientes.	Edad promedio de los productores.	Eficiencia en el uso de recursos para la producción. Rendimiento.	Densidad de plantación Fertilización Control de maleza
¿Cómo afectan al agroecosistema?	Los factores identificados reducen el rendimiento de grano del agroecosistema maíz.				
¿Es factible modificarlos?	Es posible hacer modificaciones en el sistema actual que permitan incrementar el rendimiento del cultivo e incrementar la sustentabilidad.				

Se seleccionaron como factores de estudio la densidad de siembra, el control de maleza y la fertilización, se sugirió utilizar al menos dos niveles para cada uno de los factores.

Fase 4. Diseño de la intervención

Durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2015 y 2016, se evaluaron diferentes fertilizantes orgánicos utilizando un experimento factorial con dos factores: Nejayote (N) con tres niveles $N0 = 0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $N1 = 75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $N2 = 150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Estiércol (E) con tres niveles $E0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$, $E1 = 25 \text{ Mg ha}^{-1}$ y $E2 = 50 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Los tratamientos se arreglaron en bloques completos al azar considerando las diferencias en la parcela como factor de bloqueo. Cada tratamiento se replicó tres veces; la unidad experimental constó de seis surcos de 10 metros de largo y 0.8 m de ancho, considerando como parcela útil a los dos

surcos centrales. Adicionalmente, se establecieron tres parcelas con la dosis química 120N–60P–30K (Arellano-Vázquez *et al.*, 2010), esta dosis se obtuvo con urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

La preparación del terreno consistió en un barbecho, una rastra y surcado; estas labores y la siembra se realizaron en forma mecánica. Se sembró el híbrido de maíz AS-722 el 25 de abril en el ciclo primavera-verano 2015 y el 12 de mayo en el ciclo PV 2016, con una densidad de 75 000 plantas por ha.

El control de maleza fue químico con una aplicación de 2 L de Marvel por ha, 20 días después de la siembra. Las dosis de fertilización orgánica se dividieron en tres partes que fueron aplicadas en forma manual a los 20, 40 y 60 días después de la siembra. La fertilización química se aplicó manualmente en tres partes: todo el fósforo y potasio a los 20 días, y cada mitad de la urea a los 40 y 60 días, respectivamente. La cosecha se realizó en forma manual.

Las variables medidas fueron:

1. Rendimiento de grano en kilogramos por hectárea con la fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{(PC \times \% MS \times \% G \times FC)}{8\,800}$$

Donde PC = peso de campo de mazorca, en kilogramos por parcela útil; $\% MS$ = porcentaje de materia seca, $\% G$ = porcentaje de grano; FC = factor de corrección obtenido al dividir una hectárea entre la superficie útil de la parcela; 8 800 es un valor constante que permite estimar el rendimiento con humedad uniforme de 12%.

2. Calidad física del grano, considerando el peso hectolítrico y el tamaño del mismo; el primero obtenido con una balanza digital de densidad de un litro marca Ohaus donde los granos de maíz se vertieron libremente y se rasaron con una regla, después se colocó el recipiente en el fiel de la balanza y se determinó la masa específica del grano; se expresó en $\text{kg}\cdot\text{hL}^{-1}$ (AACC, 1976). El tamaño del grano se obtuvo considerando el porcentaje de grano que pasa a través de cribas del número 20 y del número 18.

3. Eficiencia energética, que se calculó a partir de la equivalencia energética reportada en fuentes bibliográficas para cada uno de los insumos y labores utilizados en el proceso de producción, así como del maíz producido (Tabla 12). El cálculo se hizo con la fórmula:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{(MJ \text{ ha}^{-1}) \text{ producidos}}{(MJ \text{ ha}^{-1}) \text{ consumidos}}$$

Tabla 12. *Equivalencia energética de los insumos y productos del sistema de producción de maíz para grano en Ahuazotepec, Puebla*

<i>Insumo o producto</i>	<i>Unidad</i>	<i>Equivalencia energética (MJ-unidad⁻¹)</i>
Urea	kg	36
Fósforo	kg	14
Potasio	kg	9.7
Nejayote	L	0.035
Estiércol	kg	0.30
Diésel	L	47.9
Herbicida	kg	465.1
Trabajo humano fuerte	h	1.67
Trabajo humano ligero	h	0.73
Trabajo animal	h	7.55
Energía producida por el maíz	kg	14.86

Fuente: Elaboración propia (2018) con base en Pimentel y Pimentel (1996); Gliessman (1998); McLaughlin (1999); Banaeian y Zangeneh (2011).

4. La relación beneficio-costo que se calculó a partir del registro de los costos de producción en la parcela experimental y rendimientos de grano obtenidos en cada ciclo con la fórmula:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{Bt}{Ct}$$

Donde *Bt* son las utilidades obtenidas multiplicando el rendimiento de grano por hectárea por el precio de venta; *Ct* son los costos totales por hectárea de insumos, labores de cultivo y mano de obra (Tabla 13). Se consideró un precio de venta por tonelada de grano de \$4690.00 obtenido de información proporcionada por productores que venden grano en el municipio.

Tabla 13. Costos de producción de maíz para grano en Ahuazotepec, Puebla en los ciclos primavera-verano de 2015 y 2016

Actividad o insumo	Costo (\$ · ha ⁻¹)
Barbecho	900
Rastra y surcado	500
Siembra	500
Aplicación de herbicida	180
Aplicación del fertilizante orgánico	2160
Recolección nejayote	1500
Cosecha	720
Herbicida	500
Semilla	1600
Estiércol*	0
Nejayote*	0
Fertilizante químico	4529

*El estiércol fue proporcionado por la unidad de producción “Rancho Laguna Seca” y el nejayote por la tortillería “Ahuazotepec”, en ambos casos no tuvieron costo.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se estudiaron estadísticamente con un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de medias con el método de Tukey para los factores e interacciones que resultaron significativos; los cálculos se realizaron con el *software* Minitab 17 (Minitab Inc., State College, PA, EE.UU.).

Fase 5. Diseño de formularios para evaluación de la intervención

Para la evaluación de la intervención se redactó una carta compromiso del productor cooperante donde se establecieron las actividades y compromisos inherentes al proyecto, así como el permiso para el monitoreo y toma de datos durante dos ciclos de producción en los años 2015 y 2016.

Además, se generó una bitácora donde se registraron las actividades realizadas durante los dos ciclos en que se evaluó la intervención diseñada para la mejora del agroecosistema maíz. Se registraron los insumos, costos y maquinaria o equipo utilizados en la preparación del terreno, siembra,

control de maleza, fertilización y cosecha realizados en la unidad de producción evaluada. Los datos experimentales obtenidos en cada ciclo fueron registrados en una bitácora electrónica por el investigador.

Fase 6. Capacitación para establecimiento de las unidades de producción demostrativas y la obtención de registros

El grupo de investigación organizó un taller de capacitación con los participantes académicos y el productor cooperante. El objetivo fue que los actores del sistema se familiarizaran con el llenado de formularios y la forma en que se establecieron las unidades experimentales.

Fase 7. Establecimiento de la intervención

Los productores cooperantes, apoyados por el grupo de investigación, establecieron la parcela experimental en cada uno de los ciclos evaluados.

Fase 8. Monitoreo de la intervención

Las unidades experimentales fueron monitoreadas por el grupo de investigación; se realizaron cinco visitas durante cada ciclo, en estas se monitoreó la siembra, la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos y la cosecha.

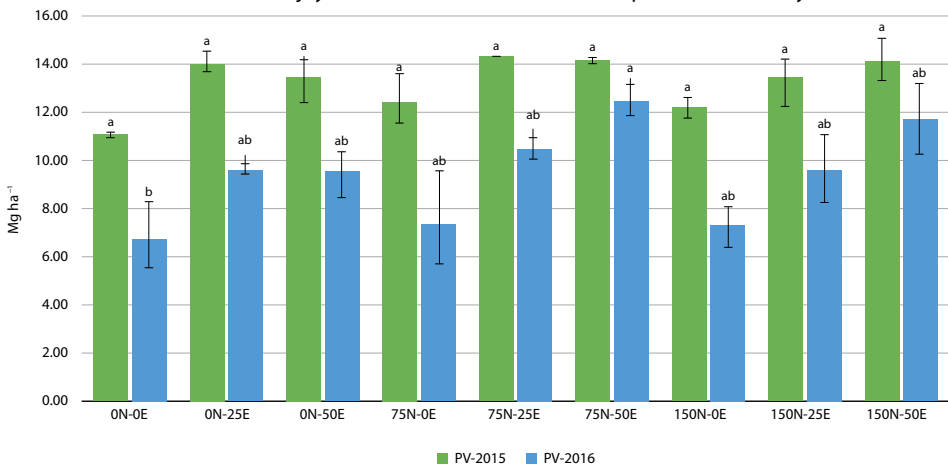
Fase 9. Colecta de datos experimentales y registros de la intervención

Antes del establecimiento del experimento en campo, se identificaron las unidades experimentales y se tomaron muestras de suelos de cada una. Al final de cada ciclo de producción se colectaron los datos de rendimiento en campo y las muestras de grano y suelos de cada unidad experimental para desarrollar los análisis de laboratorio correspondientes.

Fase 10. Análisis de datos experimentales

El rendimiento de grano de maíz promedio en los ciclos de producción 2015 y 2016 fue de 8.9 Mg ha⁻¹ en el tratamiento 0 m³ ha⁻¹ de nejayote–0 Mg ha⁻¹ de estiércol de ovino (0N–0E) y 13.32 Mg ha⁻¹ en el tratamiento 75 m³ ha⁻¹ de nejayote–50 Mg ha⁻¹ de estiércol de ovino (75N–50E); las diferencias estadísticas fueron generadas por la aplicación de estiércol (P=0.004 en 2015 y P=0.001 en 2016); los incrementos observados por este factor en el primer ciclo son de hasta 3.4 Mg ha⁻¹ (tratamiento 75N–25E) , lo que representa 29.3% con respecto al tratamiento que no recibió nejayote ni estiércol; en el ciclo PV-2016 el incremento máximo fue de 5.7 Mg ha⁻¹ (tratamiento 75N–50E) lo que representa 85.1% con respecto al tratamiento 0N–0E (Gráfica 3).

Gráfica 3. Rendimiento de grano de maíz cultivado con fertilizantes orgánicos producto de las combinaciones de nejayote-estiércol de ovino. Ahuazotepec, Puebla 2015 y 2016



Nota: PV=Primavera –Verano, 75N=75 m³ ha⁻¹ de nejayote, 150N=150 m³ ha⁻¹ de nejayote, 25E=25 Mg ha⁻¹ de estiércol de ovino, 50E=50 Mg ha⁻¹ de estiércol de ovino, Mg=toneladas. Las barras que no comparten letra son significativamente diferentes (DMSH₂₀₁₅ = 3.09, DMSH₂₀₁₆ = 4.79, α=0.05). C.V₂₀₁₅ = 10.94, R²₂₀₁₅ = 55.18, C.V₂₀₁₆ = 26.25, R²₂₀₁₆ = 62.97

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el segundo ciclo, todos los rendimientos resultaron afectados en forma negativa por un evento climático que provocó el acame de las plantas;

sin embargo, el incremento para tratamientos con estiércol fue de entre 2.7 y 4.1 toneladas por hectárea con respecto al tratamiento testigo (Gráfica 3); la fertilización química (120N–60P–30K) tuvo una disminución de 4.89 toneladas en segundo ciclo de producción que equivalen a 36% con respecto al primer año.

Calidad física del grano

Peso hectolítrico

Las diferencias entre fertilizantes orgánicos para el peso hectolítrico no fueron estadísticamente significativas ($P = 0.83$ en 2015 y $P = 0.137$ en 2016); sin embargo, en el ciclo de producción PV 2016 hubo una disminución promedio para todos los tratamientos de 5 kg hL^{-1} (Tabla 14). La aplicación de $75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de nejayote+50 Mg ha^{-1} de estiércol (75N–50E) presentó el valor menor del grupo (69.23 kg hL^{-1}), 6.4% menor que el permitido por la norma NMX-FF-034/1SCFI-2002 de maíz industrializado.

Los fertilizantes orgánicos, combinaciones entre niveles de estiércol y nejayote, presentaron los valores promedio menores a 74 kg hL^{-1} que es el valor mínimo establecido por la NMX-FF-034/1SCFI-2002. Con la fertilización química el valor de la variable fue de 74.74 kg hL^{-1} y con la aplicación de 150 m^3 de nejayote ha^{-1} y 0 Mg de estiércol ha^{-1} (150N–0E) se generó el valor promedio mayor en los dos ciclos, 75.57 kg hL^{-1} (Tabla 14), sin que estas diferencias fueran estadísticamente significativas.

El tamaño del grano, considerando el porcentaje de grano grande más grano mediano, no presentó diferencias estadísticas significativas en los ciclos de producción evaluados ($P = 0.067$ en 2015 y $P = 0.590$ en 2016); los tratamientos sin aplicación de estiércol o fertilización química presentaron la mayor cantidad de grano pequeño con valores entre 4.57% (0N–0E), 4.42% (150N–0E) y 3.75% (75 N–0 E). Los tratamientos con estiércol disminuyen el porcentaje de grano pequeño hasta 2.65%; la fertilización química presentó el mismo comportamiento que la fertilización con la mezcla 150N–50E (Tabla 14). Se observó un incremento promedio de 2.8% entre el primer y segundo ciclo de producción (Tabla 15).

Tabla 14. *Peso hectolítrico del grano de maíz cultivado con fertilizantes orgánicos, combinación de nejayote y estiércol, en Ahuazotepec, Puebla, PV 2015 y 2016*

<i>Tratamiento</i>	<i>PV-2015 (kg·hL⁻¹)</i>	<i>PV-2016 (kg·hL⁻¹)</i>	<i>Promedio (kg·hL⁻¹)</i>
0N-0E	77.33	71.23	74.28
0N-25E	76.30	71.80	74.05
0N-50E	76.87	72.93	74.90
75N-0E	76.83	72.20	74.52
75N-25E	77.00	70.50	73.75
75N-50E	75.43	69.23	72.33
150N-0E	77.47	73.67	75.57
150N-25E	76.03	70.87	73.45
150N-50E	75.00	71.03	73.02
120N-60P-30K*	77.63	71.86	74.74

Nota: 75N=75 m³ de nejayote ha⁻¹, 150N=150 m³ de nejayote ha⁻¹, 25E=25 Mg (toneladas) de estiércol de ovino ha⁻¹, 50E=50 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹. *El tratamiento con fertilización química en la dosis 120N-60P-30K se consideró únicamente para fines de comparación.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 15. *Porcentaje de grano grande más grano mediano de maíz cultivado con fertilizantes orgánicos, combinación de nejayote y estiércol, en Ahuazotepec, Puebla, 2015 y 2016*

<i>Tratamiento</i>	<i>PV-2015 (%GG+GM)</i>	<i>PV-2016 (%GG+GM)</i>	<i>Promedio (%GG+GM)</i>
0N-0E	92.87	98.00	95.43
0N-25E	95.67	98.93	97.30
0N-50E	96.43	98.27	97.35
75N-0E	96.23	96.27	96.25
75N-25E	94.37	98.73	96.55
75N-50E	95.57	98.47	97.02
150N-0E	94.36	96.80	95.58
150N-25E	95.10	98.53	96.82
150N-50E	95.50	98.60	97.05
120N-60P-30K*	96.23	97.87	97.05

Nota: GG= porcentaje de grano grande, GM=porcentaje de grano mediano, 75N= 75 m³ ha⁻¹ de nejayote, 150N= 150 m³ de nejayote ha⁻¹, 25E= 25 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹, 50E= 50 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹. *El tratamiento con fertilización química en la dosis 120N-60P-30K se consideró únicamente para fines de comparación.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tamaño del grano

El tratamiento sin fertilización presenta un porcentaje de grano pequeño de hasta 7.13%, también la aplicación de dosis altas de nejayote sin estiércol, incrementan el porcentaje de grano pequeño hasta 4.42%.

Eficiencia energética

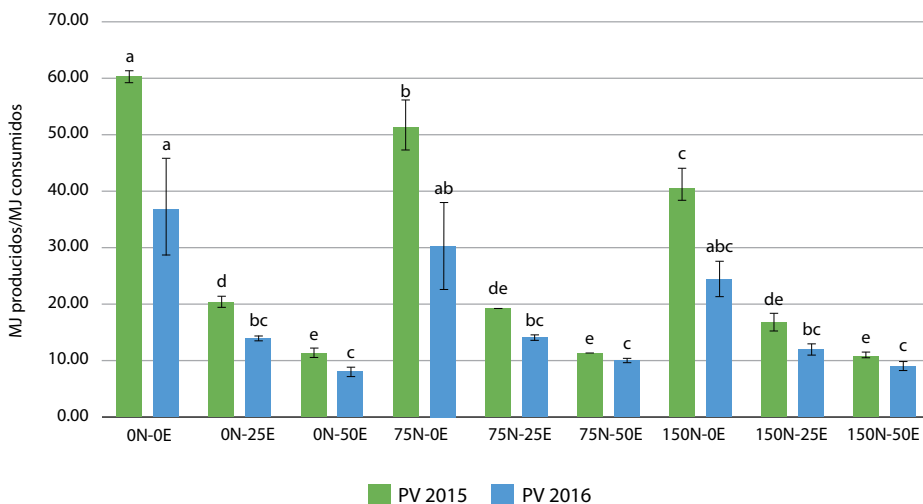
El tratamiento con mayor eficiencia energética fue el testigo, que no recibió aportaciones de nejayote ni de estiércol; por lo tanto, cada MJ ha⁻¹ gastado produjo 59.34 MJ en 2015 y 35.68 MJ en 2016 en el sistema de producción. Los fertilizantes orgánicos con nejayote tuvieron un menor consumo energético para la producción del grano, lo que genera eficiencias de 40.8 MJ/MJ para la dosis de 75 m³ ha⁻¹ y 32.41 MJ/MJ para la de 150 m³ ha⁻¹.

Las combinaciones nejayote-estiércol obtuvieron una eficiencia energética promedio de 12.84, con valor mínimo de 9.84 en el tratamiento 150 m³ de nejayote ha⁻¹ + 50 Mg de estiércol ha⁻¹ (150N-50E) y valor máximo de 16.59 con 75 m³ de nejayote ha⁻¹ + 25 Mg de estiércol ha⁻¹ (75N-25E); la fertilización inorgánica 120N-60P-30K tuvo una eficiencia energética promedio de 10.11 (Gráfica 4).

En el ciclo de producción 2015, los tratamientos 0 m³ de nejayote ha⁻¹ + 0 Mg de estiércol ha⁻¹ (0N-0E) (grupo a), 75 m³ de nejayote ha⁻¹ (75N-0E) (grupo b) y 150 m³ de nejayote ha⁻¹ (150N-0E) (grupo c) tuvieron una eficiencia energética promedio de 50.7 MJ/MJ y fueron diferentes a las combinaciones nejayote-estiércol y a los tratamientos donde se utilizó estiércol solo (Gráfica 4). En 2016, se observó una disminución a 30.4 MJ/MJ en el promedio de los mismos tratamientos, esto debido a las condiciones climáticas adversas que ocasionaron la disminución en el rendimiento del grano por efecto del acame (Gráfica 4).

Las gráficas de superficie de respuesta y contorno muestran que la forma en que optimizaría la eficiencia energética es utilizando un nivel bajo de insumos para la producción; entonces, el tratamiento con eficiencia energética mayor es aquel donde no se aplicaron fertilizantes orgánicos o químicos y aquellos en los que se aplicó únicamente nejayote.

Gráfica 4. Eficiencia energética obtenida en el sistema de producción maíz con la aplicación de fertilizantes orgánicos (combinación de nejayote y estiércol). Ahuazotepec, Puebla. 2015-2016



Nota: PV=Primavera–Verano. MJ=Mega Joules, 75N=75 m³ de nejayote ha⁻¹, 150N=150 m³ de nejayote ha⁻¹, 25E=25 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹, 50E=50 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹. Las barras que no comparten letra son significativamente diferentes ($DMSH_{2015}=7.45$, $DMSH_{2016}=17.44$, $\alpha=0.05$). $C.V_{2015}=68.11$, $R^2_{2015}=98.37$, $C.V_{2016}=64.94$, $R^2_{2016}=76.96$.

Fuente: Elaboración propia (2017).

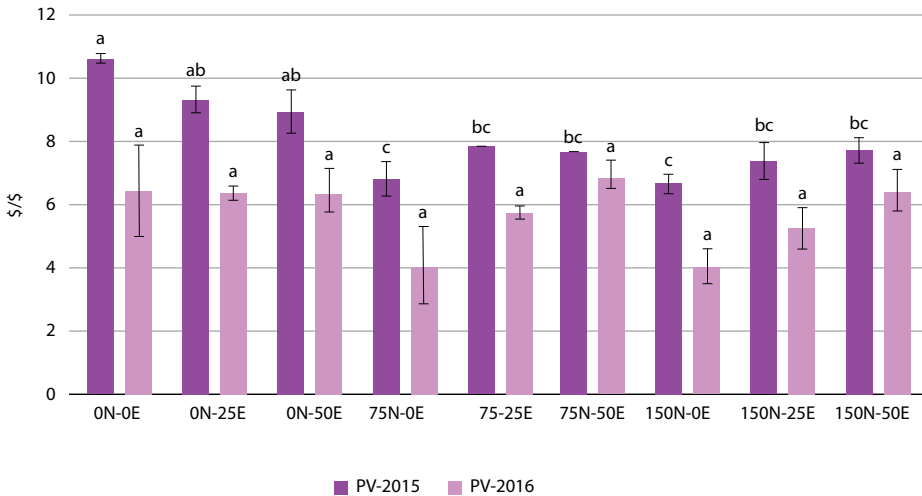
Relación beneficio-costo

En 2015, hubo diferencias significativas ($P = 0.023$) entre los fertilizantes orgánicos para la relación beneficio-costos; donde se aplicó nejayote, pero no estiércol se encontró una disminución promedio de 36% con respecto al valor obtenido en el tratamiento testigo (0N–0E). En el ciclo primavera-verano 2016, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P = 0.8$); sin embargo, la adición de abono incrementa la relación beneficio costo promedio de 4.83 en los fertilizantes orgánicos con cero estiércol hasta 6.5 en tratamientos con 50 toneladas por hectárea (Gráfica 5).

En 2015, la relación beneficio costo (RBC) mayor se obtuvo con el tratamiento testigo (0N–0E), fue de \$9.59 por cada peso invertido; sin embargo, en el segundo ciclo de cultivo (2016) la mayor RBC se obtuvo con el tratamien-

to 75 m³ de nejayote ha⁻¹ + 50 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹ (75N-50E) teniendo \$5.83 por cada peso invertido. La fertilización inorgánica genera una RBC de 5.43, 36.3% menor que la obtenida con el tratamiento sin fertilización y 30.7% menor que la obtenida con el tratamiento 0 m³ de nejayote ha⁻¹ + 25 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹ (0N-25E) (Gráfica 5).

Gráfica 5. Relación Beneficio-Costo obtenida en el sistema de producción maíz con la aplicación de fertilizantes orgánicos (combinación de nejayote y estiércol). Ahuazotepec, Puebla. 2015-2016



Nota: PV=Primavera-Verano. 75N=75 m³ de nejayote ha⁻¹, 150N=150 m³ de nejayote ha⁻¹, 25E=25 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹, 50E=50 Mg de estiércol de ovino ha⁻¹. Las barras que no comparten letra son significativamente diferentes ($DMSH_{2015} = 1.80$, $DMSH_{2016} = 3.23$, $\alpha = 0.05$). $C.V_{2015} = 16.66$, $R^2_{2015} = 82.47$, $C.V_{2016} = 25.58$, $R^2_{2016} = 51.81$.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Fase 11. Integración y presentación de los resultados

Los resultados de la investigación fueron comunicados en una reunión con el productor cooperante, además se generaron un manual técnico para productores y un curso de capacitación; se proporcionó asesoría al Ayuntamiento Municipal para el desarrollo de un programa gubernamental y se generaron dos artículos científicos, uno con los resultados del diagnóstico del agroecosistema y otro con los resultados de la intervención en el agroecosistema maíz.

Elaboración del manual técnico para productores: Tecnología para la producción de maíz en el municipio de Ahuazotepec, Puebla

El primer resultado fue un manual titulado: *Tecnología para la producción de maíz en el municipio de Ahuazotepec, Puebla*, en este se presenta la información detallada sobre la tecnología de producción de maíz, que incluye la selección de la variedad o híbrido, la preparación del terreno, siembra, riego, fertilización, control de plagas y maleza, manejo del agua y cosecha y manejo poscosecha específicos para el municipio de Ahuazotepec, Puebla (Figura 10). El manual fue obsequiado a 50 productores de maíz del municipio.

Figura 10. *Manual sobre la tecnología para la producción de maíz en el municipio de Ahuazotepec, Puebla*



¹ Instituto Politécnico Nacional - ESIME Zacatenco - Doctorado en Ingeniería de Sistemas

² Universidad Nacional Autónoma de México – Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Fuente: Elaboración propia (2016).

Curso de capacitación para productores: Tecnología para mejorar la producción de maíz para grano

Como segundo resultado, se generó e impartió un curso de capacitación titulado: *Tecnología para mejorar la producción de maíz para grano* el 19 de marzo de 2016 con una duración de 8 horas. Se abordaron tópicos como: características de las variedades e híbridos de maíz con atributos sobresalientes y adaptados al municipio, procesos para mejoramiento y conservación de variedades criollas, fertilización química y orgánica, aplicación eficiente de herbicidas, factores que afectan el rendimiento del grano, manejo poscosecha y calidad del grano, entre otros. Se contó con la asistencia de 23 productores (Figura 11).

Figura 11. Curso de capacitación para productores: Tecnología para mejorar la producción de maíz para grano. Ahuazotepec, Puebla. 2016



Fuente: Elaboración propia (2016).

En el curso se hizo la entrega a cada productor del manual titulado: *Tecnología para la producción de maíz en el municipio de Ahuazotepec, Puebla* con el fin de que sirviera como guía para el cultivo de maíz; así como, una bitácora para el registro técnico y administrativo del sistema de producción, útil para la planeación, el control y la mejora de la producción. Asimismo,

se hizo el contacto con tres productores cooperantes para el establecimiento de tres parcelas demostrativas en el ciclo agrícola primavera-verano 2016, en estas parcelas se reportaron rendimientos de 8 t ha^{-1} en condiciones de temporal.

Planeación y ejecución del Programa para el incremento de la sustentabilidad económica del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla

Con base al análisis de sustentabilidad, se determinó que para el municipio de Ahuazotepec, Puebla es posible incrementar el rendimiento implementando un paquete tecnológico diseñado expreso por el grupo de investigación integrado por profesores-investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el conocimiento y participación activa de los productores, ya que las condiciones biofísicas y de manejo de la zona permitirían la obtención de rendimientos superiores a la media nacional.

En conjunto con el Ayuntamiento de Ahuazotepec, Puebla, se planeó y ejecutó el Programa para el incremento de la sustentabilidad económica del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla mediante el establecimiento de unidades de producción experimentales (parcelas escuela para los productores) establecidas y con manejo agronómico acorde con el paquete tecnológico definido y detallado en el *Manual Tecnología para la producción de maíz en el municipio de Ahuazotepec, Puebla*. El proyecto se llevó a cabo en el ciclo agrícola primavera-verano 2017 y se beneficiaron 24 productores (Figura 12).



Publicación de artículos científicos

Con base en la planeación y ejecución de la metodología propuesta para realizar el análisis de sustentabilidad del agroecosistema de maíz en Ahuazotepec, Puebla, se escribieron, se sometieron a proceso editorial y publicaron los artículos:

Sustainability assessment of traditional maize (*Zea mays* L.) agroecosystem in Sierra Norte of Puebla, Mexico (doi.org/10.1080/21683565.2017.1382426) en la revista *Agroecology and Sustainable Food Systems*.

Effect of lime water – manure organic fertilizers on the productivity, energy efficiency and profitability of rainfed maize production (doi.org/10.1080/03650340.2019.1616287) en la revista *Archives of Agronomy and Soil Science*.

Figura 12. Programa para el incremento de la sustentabilidad económica del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla. 2017

Ahuazotepec, Puebla a 5 de enero de 2018.
PM/0318/2018.


ASUNTO: Constancia de participación como asesora del Programa para el Incremento de la Sustentabilidad Económica del Agroecosistema Maíz

A quien corresponde:


Por medio de la presente y con base en el Artículo 138 Fracciones VII y XIV de la Ley Orgánica Municipal; se hace constar que la M. en I. Martha Elena Domínguez Hernández participó como asesora en la elaboración, aplicación y monitoreo del Programa para el Incremento de la Sustentabilidad Económica del Agroecosistema Maíz que fue aprobado por mayoría en el Acta Número 118, en el punto número 7 del Libro II del 27 de Marzo de 2017.

El programa se desarrolló durante el ciclo agrícola Primavera – Verano de 2017 en 21 hectáreas de distintas localidades del municipio.




Atentamente
"El derecho al respeto ajeno es la paz"



Lic. Roberto Cruz Fosado
Secretario General
Del Honorable Ayuntamiento de Ahuazotepec, Puebla



SECRETARÍA GENERAL
H. AYUNTAMIENTO DE AHUAZOTEPEC, PUE.
2014-2018

MIGUEL HOD. S.N. CENTRO AHUAZOTEPEC, PUE. TELÉFONO: 01(776) 78 130 06

Conclusiones

La aplicación de los fertilizantes orgánicos nejayote-estiércol tuvo un efecto positivo en el rendimiento de grano de maíz con una tendencia a mantenerse en el tiempo, lo que representa una mejora sustentable del sistema de producción.

Ante condiciones climáticas adversas, la disminución de rendimiento es menor con las fertilizaciones orgánicas nejayote-estiércol en comparación con la fertilización química y con el testigo. El sistema se vuelve más resiliente.

La aplicación de los fertilizantes orgánicos nejayote-estiércol es una opción viable para hacer eficiente el uso de la energía en la agricultura favoreciendo el incremento de los rendimientos de grano del maíz.

La relación beneficio-costo promedio obtenida con la aplicación de las fertilizaciones orgánicas nejayote-estiércol fue de 6.71, es decir, por cada peso invertido se obtienen \$5.71. Los insumos utilizados en los fertilizantes orgánicos no tuvieron costo por ser desechos de un sistema de producción pecuario y un sistema agroindustrial.

Los fertilizantes orgánicos nejayote-estiércol tuvieron un efecto positivo en el rendimiento de grano de maíz, eficiencia energética y relación beneficio-costo, no así para la calidad del grano, por lo cual es necesario realizar más estudios para lograr un producto que cumpla con los requerimientos para la industria productora de tortillas y productos de maíz nixtamalizado.

La metodología de Análisis Multidimensional, Sistémico y Transdisciplinario para la Investigación Agrícola (AMSTIA) ofrece un marco sistémico,

transdisciplinario y flexible que permite la obtención de información confiable para evaluar sistemas de producción e intervenciones para la mejora.

Es posible aplicar la metodología en un rango amplio de condiciones ambientales, sociales y económicas porque contiene procedimientos generales que pueden ser adaptados al ámbito local.

La participación activa y directa de los actores del sistema incrementa la posibilidad del éxito en la aplicación de intervenciones, ya que se establece un compromiso en la realización de actividades.

El tiempo de aplicación mínimo de 2 años incrementa la adopción de las estrategias de mejora y permite obtener una evaluación más confiable, ya que se considera el efecto de factores externos en un rango más amplio.

Referencias

- Alaminos, C., A., y Castejón, C. J. L. (2006). *Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de medición*. Alicante, España: Marfil.
- Alrøe, H. F., y Kristensen, E. S. (2002). Towards a systemic research methodology in agriculture Rethinking the role of values in science. *Agriculture and Human Values*, 19, 3-23. <https://doi.org/10.1023/A:1015040009300>
- Altieri, M. A. (1987). *Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agriculture*. United States of America: Westview Press.
- Altieri, M. A. (2002). Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93(1-3), 1-24. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)
- American-Society-of-Agronomy (2016). American Society of Agronomy. <https://www.agronomy.org/about-agronomy>
- Amshoff, S. K., y Reed, D. B. (2005). Health, Work, and Safety of Farmers Ages 50 and Older. *Geriatric Nursing*, 26(5), 304-308. <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2005.08.008>
- Arellano-Vázquez, J. L., Virgen-Vargas, J., y Ávila-Perches, M. A. (2010). H-66 maize hybrid for the central highlands of the Mexico and Tlaxcala states. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 257-262.
- Arnés, E., Ek Del Val, J. A., y Astier, M. (2013). Sustainability and Climate Variability in Low-Input Peasant Maize Systems in the Central Mexican Highlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 181, 195-205. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.022>.
- Ayala, A., Schwentesius, R., O-Olán, M. de la, Preciado, P., Almaguer, G., y Rivas, P. (2013). Analisis de rentabilidad de la producción de maíz en la Región de Tulancingo, Hidalgo, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 10, 381-395.
- Badii, M. H., López-Pérez, F., Quiróz, H., y Pazhakh, A. R. (2004). Muestreo como un requisito fundamental en las acciones experimentales. *Innovaciones de Negocios*, 1(1), 33-53.

- Badii, M. H., Castillo, J., y Guillen, A. (2008). Tamaño óptimo de la muestra. *Innovaciones de Negocios*, 5(1), 53-65.
- Badii, M. H., Guillen, A., Valenzuela, J., Cerna, E., y Abreu, J. L. (2011). Muestreo simple aleatorio, binomial, estimación de razón y estratificado: descripción y análisis comparativo. *International Journal of Good Conscience*, 2(6), 218-240.
- Banaeian, N., y Zangeneh, M. (2011). Study on energy efficiency in corn production of Iran. *Energy*, 36(8), 5394-5402. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.052>
- Bawden, R. J. (1991). Systems thinking and practice in agriculture. *Journal of Dairy Science*, 74(7), 2362-2373.
- Bawden, R. J., y Packham, R. G. (1993). Systemic praxis in the education of the agricultural systems practitioner. *Systems Practice*, 6(1), 7-19. <https://doi.org/10.1007/BF01059677>
- Bawden, R. J. (2007). Redesigning animal agriculture: A systemic perspective. En D. L. Swain, E. Charmley, J. Steel y S. Coffey (Eds.), *Redesigning animal agriculture: The Challenge of the 21st Century* (pp. 1-17). London UK: CABI.
- Berdegú, J., Sotomayor, O., y Zilleruelo, C. (1990). Metodología de tipificación y clasificación de sistemas de producción campesinos de la provincia de Ñuble, Chile. En G. Escobar y J. Berdegú (Eds.), *Tipificación de sistemas de producción agrícola* (pp. 85-117). Santiago, Chile: Red Internacional de Metodologías de Investigación en Sistemas de Producción.
- Brklacich, M., Bryant, C. R., y Smit, B. (1991). Review and appraisal of concept of sustainable food production systems. *Environmental Management*, 15(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/BF02393834>
- Calleros-Islas, A. (2019). Sustainability assessment. An adaptative low-input tool applied to the management of agroecosystems in México. *Ecological Indicators*, 105(2019), 386-397. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.040>
- Capulín-Grande, J., Núñez-Escobar, R., Etchevers-Barra, J. D., y Baca-Castillo, G. A. (2001). Evaluation of Liquid Cattle Manure Extract as a Plant Nutrition Input in Hydroponics. *Agrocencia*, 35.
- Chávez, C., y Arriaga, C. (1999). Agricultura campesina y diversidad de maíz. *Ciencia Ergo Sum*, 5(1), 51-56.
- Chávez Serbia, J. L. (2004). *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales* (pp. 18-25). Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Checkland, P., y Poulter, J. (2010). Soft systems methodology. En *Systems approaches to managing change: A practical guide* (pp. 191-242). Springer.
- Cheng, Yi, Jie Zhao, Zhen Xiang Liu, Zhi Jin Huo, Peng Liu, Shu Ting Dong, Ji Wang Zhang, y Bin Zhao (2015). Modified Fertilization Management of Summer Maize (Zea Mays L.) in Northern China Improves Grain Yield and Efficiency of Nitrogen Use. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(8), 1644-1657. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60879-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60879-0)
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987). *Our Common Future*. New York: Oxford University Press.

- Conway, G. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*, 24(2), 95-117. [https://doi.org/10.1016/0308-521\(87\)90056-4](https://doi.org/10.1016/0308-521(87)90056-4)
- Dalsgaard, J. P. T., Lightfoot, C., y Christensen, V. (1995). Towards quantification of ecological sustainability in farming systems analysis. *Ecological Engineering*, 4(94), 181-189. [https://doi.org/10.1016/0925-8574\(94\)00057-C](https://doi.org/10.1016/0925-8574(94)00057-C)
- Domínguez-Hernández, M. E. (2018). *Manejo sustentable de residuos (Nejayote y Estiércol) para mejorar el agroecosistema de maíz: Visión Transdisciplinaria*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Donatelli, M., y Confalonieri, R. (2011). Biophysical Models for Cropping System Simulation. En G. Flichman (Ed.), *Bio-Economic Models applied to Agricultural Systems* (pp. 59-86). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1902-6_4.
- Eksvärd, K., Salomonsson, L., Francis, C., Sriskandarajah, N., Svanäng, K., Lieblein, G., Björklund, J., y Geber, U. (2009). *16 Participatory Approaches and Stakeholder Involvement in Sustainable Agriculture Research*. Sustainable Agroecosystem Management: Integrating Ecology, Economics, and Society. CRC Press.
- ENA. (2017). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/>
- ENOE. (2020). *Resultados de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. Cifras durante el segundo trimestre de 2023*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos_Colores.asp?proy=enoe_pe_ed15_po
- Fantin, V., Righi, S., Rondini, I., y Masoni, P. (2017). Environmental Assessment of Wheat and Maize Production in an Italian Farmers' Cooperative. *Journal of Cleaner Production*, 140, 631-643. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.136>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016a). *The state of food and agriculture. Climate change, agriculture and food security*. Roma: FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma: FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). *Transforming the world through food and agriculture. FAO and the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Rome: FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016b). *Food and Agriculture. Key to achieving the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Rome: FAO.
- FAOSTAT.(2023). *Food Agriculture Organization of the United Nations FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D. P. M., y O'Connell, C. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Francis, C. A., Lieblein, G., Breland, T. A., Salomonsson, L., Geber, U., Sriskandarajah, N., y Langer, V. (2008). Transdisciplinary research for a sustainable agriculture and food

- sector. *Agronomy Journal*, 100(3), 771-776. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0073>.
- Funes-Monzote, F. R. (2009). *Eficiencia Energética En Sistemas Agropecuarios. Elementos Teóricos y Prácticos Para El Cálculo y Análisis Integrado*. Cuba: Universidad de Matanzas.
- Gigch, J. (2012). *Teoría General de Sistemas*. México:Trillas.
- Gil-Muñoz, A., López, P. A., Muñoz Orozco, A., López-Sánchez, H. (2004). Variedades Criollas de Maíz (*Zea Mays* L.) en el Estado de Puebla. México: Diversidad y Utilización.
- Gliessman, S. R. (2015). *Agroecology: the ecology of sustainable food systems* (3ª ed.). CRC Press.
- Gliessman, S. R. (1998). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Chelsea, MI: Ann Harbor Press.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., y Toulmin, C. (2012). The Challenge of Food Security. *Science*, 327, 812. <https://doi.org/10.4337/9780857939388>
- Gullifer, J., y Thompson, A. P. (2006). Subjective Realities of Older Male Farmers: Self-Perceptions of Ageing and Work. *Rural Society*, 16(1), 80-97. <https://doi.org/10.5172/rsj.351.16.1.80>
- Han, J., Kamber, M., y Pei, J. (2012). Cluster Analysis: Basic Concepts and Methods. En *Data Mining*. Elsevier Inc. (pp. 443-495). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381479-1.00010-1>
- Hellin, J., Lundy, M., y Meijer, M. (2009). Farmer Organization, Collective Action and Market Access in Meso-America. *Food Policy*, 34(1), 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2008.10.003>
- Hernández-Aguilar, C. (2018). Transdisciplinary Methodological Option for Initial Research Process: Training of Researchers. *Transdisciplinary Journal of Engineering & Science*, 9, 157-181.
- Huang, S., Zhang, W., Yu, X., y Huang, Q. (2010). Effects of Long-Term Fertilization on Corn Productivity and Its Sustainability in an Ultisol of Southern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138(1-2), 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.015>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ahuazotepec, Puebla*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014a). *Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2014*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014b). *INEGI: Información por Entidad Federativa y Municipio: Ahuazotepec, Puebla*. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=21>
- Köbrich, C., Rehman, T., y Khan, M. (2003). Typification of farming systems for constructing representative farm models: Two illustrations of the application of

- multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems*, 76(1), 141-157. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00013-6)
- Krishna, K. R. (2013). *Maize Agroecosystem: Nutrient Dynamics and Productivity*. Canadá: Apple Academic Press Inc.
- Lerner, A. M., Eakin, H., y Sweeney, S. (2013). Understanding peri-urban maize production through an examination of household livelihoods in the Toluca Metropolitan Area, Mexico. *Journal of Rural Studies*, 30(2013), 52-63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2012.11.001>
- Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., y Li, H. (2009). Organic Amendments with Reduced Chemical Fertilizer Promote Soil Microbial Development and Nutrient Availability in a Subtropical Paddy Field: The Influence of Quantity, Type and Application Time of Organic Amendments. *Applied Soil Ecology*, 42(2), 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006>
- López-Ridaura, S., Masera, O., y Astier, M. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological indicators*, 2(1), 135-148.
- Malfongoya, P., Rusinamhodzi, L., Siziba, S., Thierfelder, C., Mvumi, B. M., Nhau, B., Hove, L., y Chivenge, P. (2016). Maize Productivity and Profitability in Conservation Agriculture Systems across Agro-Ecological Regions in Zimbabwe: A Review of Knowledge and Practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 220, 211-225. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.017>
- Malhotra, N. (2004). *Investigación de mercados*. (5ª ed.). México: Pearson Educación.
- Marotz-Baden, R., Keating, N. C., y Munro, B. (1995). Generational Differences in the Meaning of Retirement from Farming. *Family and Consumer Sciences Research Journal*, 24(1), 29-46.
- Mascarenhas, A., Coelho, P., Subtil, E., y Ramos, T. B. (2010). The role of common local indicators in regional sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 10(3), 646-656. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.11.003>
- Masera, O., Astier, M., y López-Ridaura, S. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco MESMIS*. México: Mundi Prensa.
- McLaughlin, S. P. (1999). *Energy in Ecosystems*. Tucson, AZ: University of Arizona.
- Meadows, D. (2008). *Thinking in systems: a primer*. Londres: Earthscan.
- Measham, T. G., Preston, B. L., Smith, T. F., Brooke, C., Gorddard, R., Withycombe, G., y Morrison, C. (2011). Adapting to climate change through local municipal planning: Barriers and challenges. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(8), 889-909. <https://doi.org/10.1007/s11027-011-9301-2>
- Miron, J., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A., Zuckerman, E., Solomon, R., y Nadler, A. (2011). Fresh Dairy Manure as a Substitute for Chemical Fertilization in Growing Wheat Forage; Effects on Soil Properties, Forage Yield and Composition, Weed Contamination, and Hay Intake and Digestibility by Sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 168(3-4), 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.094>
- Montgomery, D. C. (2016). *Diseño y análisis de experimentos*. (2ª. ed.). México: Limusa.

- Organización Internacional de la Propiedad Intelectual (OMPI). (2021). *¿Qué es la propiedad intelectual?* (p. 25). Organización Internacional de la Propiedad Intelectual.
- Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232.
- Parsons, D., Ramírez-Áviles, L., Cherney, J. H., Ketterings, Q. M., Blake, R. W., y Nicholson, C. F. (2009). Managing Maize Production in Shifting Cultivation Milpa Systems in Yucatan, through Weed Control and Manure Application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133(1-2), 123-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.011>
- Pietola, K., Vare, M., y Lansink, A. O. (2003). Timing and Type of Exit from Farming: Farmers' Early Retirement Programmes in Finland. *European Review of Agricultural Economics*, 30(1), 99-116. <https://doi.org/10.1093/erae/30.1.99>
- Pimentel, D., y Pimentel, M. (1996). *Food, energy, and society*. Niwot, CO: University Press of Colorado.
- Potter, C., y Loble, M. (1992). Ageing and Succession on Family Farms: The Impact on Decision-Making and Land Use. *Sociologia Ruralis*, XXXII(2/3), 317-331.
- Real Academia Española (REA). (2011). *Diccionario de la lengua española*. Madrid, España.
- Reed, M. S., Fraser, E. D., y Dougill, A. J. (2006). An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. *Ecological Economics*, 59(4), 406-418. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.008>
- Rojas, S. R. (2012). *Métodos para la investigación social. Una proposición dialéctica* (18ª ed.). México: Plaza y Valdés Editores.
- Ruttan, V. W. (2002). Productivity Growth in World Agriculture: Sources and Constraints. *Journal of Economic Perspectives*, 16(4), 161-184.
- Rykiel, E. J. (1984). *Modeling agroecosystems: Lessons from ecology. Agricultural Ecosystems: Unifying Concepts* (pp. 157-178). R. Lowrance, B. Stinner y G. House (Eds.). New York: Wiley,
- Rykiel, E. J. (1996). Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological modelling*, 90(3), 229-244.
- Schaller, N. (1993). Sustainable agriculture and the environment: The concept of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46, 89-97. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(93\)90016-I](https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90016-I)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. <http://www.siap.gob.mx/produccion-agropecuaria/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016b). *Avance de Siembras y Cosechas. Resumen por estado*. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do
- Sokal, R. R. (1977). Clustering and classification: Background and current directions. En J. Van Ryzin (Ed.), *Classification and clustering* (pp. 1-15). New York: Academic Press.
- Stevens, S. (1946). On the Theory of Scales of Measurement. *Science*, 103(2684), 677-680.
- Tilman, D., Cassman, K. M., Matson, P. A., Naylor, R., y Polasky, S. (2002). Agricultural

- Sustainability and Intensive Production Practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>.
- Valentín-Garrido, J. M., León-Merino, A., Hernández-Juárez, M., Sangerman-Jarquín, D. M., y Valtierra-Pacheco, E. (2016). Evaluación Del Programa PROAGRO Productivo en Comunidades Rurales de La Sierra Norte de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 413-425.
- Van-Dusen, M. E., y Taylor, J. E. (2005). Missing markets and crop diversity: evidence from Mexico. *Environment and Development Economics*, 10(4), 513-531. <https://doi.org/10.1017/S1355770X05002317>
- Vasileiadis, V. P., Moonen, A. C., Sattin, M., Otto, S., Pons, X., Kudsk, P., Veres, A., Dorner, Z., Weide, R. van der, Marraccini, E., Pelzer, E., Angevin, F., y Kiss, J. (2013). Sustainability of European Maize-Based Cropping Systems: Economic, Environmental and Social Assessment of Current and Proposed Innovative IPM-Based Systems. *European Journal of Agronomy*, 48, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.02.001>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., y Myers, S. L. (1999). Probabilidad y Estadística para Ingenieros. (6ª ed.). México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Yunlong, C., y Smit, B. (1994). Sustainability in agriculture: a general review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 49(3), 299-307. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90059-0)
- Zahm, F., Viaux, P., Vilain, L., Girardin, P., y Mouchet, C. (2008). Assessing farm sustainability with the IDEA method - From the concept of agriculture sustainability to case studies on farms. *Sustainable Development*, 16(4), 271-281. <https://doi.org/10.1002/sd.380>

Sobre las autoras

Martha Elena Domínguez Hernández

Doctora en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), Maestra en Ingeniería y Licenciada en Ingeniería Agrícola por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesora e investigadora del Departamento de Ciencias Agrícolas de la FES Cuautitlán de la UNAM. Es Investigadora Nacional nivel I en el Área VII Ciencias de Agricultura, Agropecuarias, Forestales y de Ecosistemas. Pertenece a la Sociedad Científica Mexicana de Ecología A. C. Colabora en proyectos de investigación internos y en colaboración con instituciones como el ITESM, el IPN y la Universidad de Querétaro (UAQ). Realiza investigación transdisciplinaria con productores en los estados de Puebla y México para el diseño, implementación y monitoreo de intervenciones para mejorar la sustentabilidad, circularidad y seguridad alimentaria en los agroecosistemas. Ha publicado artículos en revistas indizadas entre los que destacan: “Transdisciplinary Interventions to Improve the Sustainability of Maize Agroecosystems: A Case Study from Mexico” (2022), en *Transdisciplinary Journal of Engineering & Science*, “Effect of lime water – manure organic fertilizers on the productivity, energy efficiency and profitability of rainfed maize production” (2020), en *Archives of Agronomy and Soil Science* y “Sustainability assessment of traditional maize (*Zea mays* L.) agroecosystem in Sierra Norte of Puebla, Mexico” (2018), en *Agroecology and Sustainable Food Systems*.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7924-5171>

Scopus Author ID: 56520434500

Web of Science Researcher ID: AAV-1099-2020

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Martha-Dominguez-7>
Google Scholar: <https://scholar.google.es/citations?user=cQBgOOoAAAA-J&hl=es>

Rosalba Zepeda Bautista

Doctora en Ciencias en Genética y Maestra en Ciencias en Producción de Semillas por el Colegio de Postgraduados (CP) e Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Profesora titular e Investigadora en el Posgrado de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Investigadora Nacional nivel III en el Área VII Ciencias de Agricultura, Agropecuarias, Forestales y de Ecosistemas. Pertenece a la Sociedad Mexicana de Fitogenética. Tiene una trayectoria profesional, docente, académica y de investigación de 24 años ininterrumpidos de labor en la Sagarpa (ahora Sader), en el CP y en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y en el IPN. Colabora en proyectos de investigación con investigadores del CP, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la UACH, el Centro de Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMyT), la Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, la UNAM, en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI), la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del IPN y municipios del Estado de México y Puebla (15). Líneas de investigación: sustentabilidad de los sistemas de producción de alimentos y educación, tecnología y calidad de alimentos, métodos biológicos y físicos para producir alimentos, tecnología y calidad de semillas y mejoramiento genético de plantas. Ha publicado 44 artículos científicos en revistas del Journal Citation Report (JCR), del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) e Internacionales, cuanta con 76 contribuciones en congresos, un capítulo de libro, cinco derechos de autor y una solicitud de registro de patente; 26 tesis dirigidas: 3, 14 y 9 de licenciatura, maestría y doctorado, respectivamente. Evaluadora del Programa Nacional de Posgrados de Calidad del Sistema Nacional de Posgrados (PNPC-SNP) y de proyectos de investigación (15). Revisora y editora técnica de artículos de revistas (28). Coordinadora de la Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas (de febrero de 2021 a enero de 2024). Entre los productos destacados se cuentan: “Taller Dale una mano al medio ambiente:

Cultivos verticales” a estudiantes de nivel medio superior (2023), “Transdisciplinary Cyber-systemic Design of Instruments to Measure Academic Performance in Middle and Higher Education Systems” (2022), en Systemic Practice and Action Research, “Nitrogen in fertigation to produce seed of parental lines and simple crosses of maize: Doses and distribution” (2021), en la *Revista Fitotecnica Mexicana*, solicitud de patente folio: MX/E/2021/089478 “Proceso para el tratamiento sustentable de nejayote como fertilizante orgánico” (2021).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0988-8619>

Scopus Author ID: 56002682500

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Rosalba-Zepeda-Bautista>

Web of Science Researcher ID: JMB-7618-2023

Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?view_op=list_works&hl=s&user=Fs_BwDUAAAAJ

Índice de figuras

Figura 1. Factores que afectan al sistema de producción de maíz . . .	14
Figura 2. La sistémica en la agricultura	18
Figura 3. Jerarquía ascendente de solución de problemas utilizada en la Espiral de Hawkesbury	20
Figura 4. Metodología para el Análisis multidimensional, sistémico y transdisciplinario para la investigación agrícola (AMSTIA).	28
Figura 5. Fase 1: Definición del objeto de estudio en la investigación agrícola	29
Figura 6. Fase 2: Diagnóstico de la situación actual del agroecosistema en estudio en la investigación agrícola.	35
Figura 7. Fase 3: Identificación de los factores que afectan la producción del agroecosistema	45
Figura 8. Fase 4: Proceso para el diseño de la intervención para la mejora del agroecosistema.	47
Figura 9. Importancia de la selección del tipo de variables, escalas de medición y métodos estadísticos de análisis de datos en el diseño de la intervención.	49
Figura 10. Manual sobre la tecnología para la producción de maíz en el municipio de Ahuazotepec, Puebla	87
Figura 11. Curso de capacitación para productores: Tecnología para mejorar la producción de maíz para grano. Ahuazotepec, Puebla. 2016	88
Figura 12. Programa para el incremento de la sustentabilidad econó-	

mica del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla. 2017. . .	90
--	----

Índice de gráficas

Gráfica 1. Superficie sembrada y producción de maíz en Ahuazotepec 2004-2015	61
Gráfica 2. Diagrama de AMIBA para los indicadores de sustentabilidad medidos en los tres clústeres de Ahuazotepec, Puebla, 2015. . . .	67
Gráfica 3. Rendimiento de grano de maíz cultivado con fertilizantes orgánicos producto de las combinaciones de nejayote-estiércol de ovino. Ahuazotepec, Puebla 2015 y 2016	81
Gráfica 4. Eficiencia energética obtenida en el sistema de producción maíz con la aplicación de fertilizantes orgánicos (combinación de nejayote y estiércol). Ahuazotepec, Puebla. 2015-2016.	85
Gráfica 5. Relación Beneficio-Costo obtenida en el sistema de producción maíz con la aplicación de fertilizantes orgánicos (combinación de nejayote y estiércol). Ahuazotepec, Puebla. 2015-2016.	86

Índice de tablas

Tabla 1. Características de las metodologías evaluadas y propuesta AMSTIA: Dimensiones, objetivo, objeto de estudio y fases	25
Tabla 2. Características de las metodologías evaluadas y propuesta AMSTIA: dimensiones, objetivo, objeto de estudio y fases	26
Tabla 3. Formulario para realizar la identificación de factores y puntos críticos positivos y negativos que afectan la producción en el agroecosistema de estudio	44
Tabla 4. Formato propuesto para registrar los datos de las variables durante la evaluación de la intervención	51
Tabla 5. Formulario para el registro de actividades en la parcela . . .	54
Tabla 6. Características fisiográficas, edáficas, hidrográficas y climáticas de Ahuazotepec, Puebla	60
Tabla 7. Indicadores económicos, ambientales y sociales con las unidades de referencia utilizadas para el análisis de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla, 2015	66
Tabla 8. Valores agrupados por clúster para los indicadores económicos seleccionados utilizados para el análisis de sustentabilidad MESMIS del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla, 2015 .	68
Tabla 9. Valores agrupados por clúster para los indicadores ambientales seleccionados utilizados para el análisis de sustentabilidad MESMIS del agroecosistema maíz en Ahuazotepec, Puebla, 2015 .	69
Tabla 10. Valores agrupados por clúster para los indicadores sociales utilizados en el análisis de sustentabilidad MESMIS del agroecosis-	

tema maíz en Ahuazotepec, Puebla, 2015	70
Tabla 11. Formulario para identificación de factores que afectan a la producción	76
Tabla 12. Equivalencia energética de los insumos y productos del sis- tema de producción de maíz para grano en Ahuazotepec, Puebla	78
Tabla 13. Costos de producción de maíz para grano en Ahuazotepec, Puebla en los ciclos primavera-verano de 2015 y 2016	79
Tabla 14. Peso hectolítrico del grano de maíz cultivado con fertilizan- tes orgánicos, combinación de nejayote y estiércol, en Ahuazotepec, Puebla, PV 2015 y 2016	83
Tabla 15. Porcentaje de grano grande más grano mediano de maíz cultivado con fertilizantes orgánicos, combinación de nejayote y estiércol, en Ahuazotepec, Puebla, 2015 y 2016	83

*Análisis multidimensional, sistémico y
transdisciplinario para la investigación agrícola
(AMSTIA)* de Martha Elena Domínguez Hernández
y Rosalba Zepeda Bautista publicado por Ediciones
Comunicación Científica, S. A. de C. V., en versión digital en los
formatos PDF, EPUB y HTML5 para acceso abierto.

A *nálisis Multidimensional, Sistémico y Transdisciplinario para la Investigación Agrícola (AMSTIA)* es una metodología innovadora que aborda la complejidad de los agroecosistemas para analizarlos, evaluarlos y mejorarlos. Desde la definición del objeto de estudio hasta el diseño, implementación y evaluación de las intervenciones, y la presentación de resultados a los actores principales para la toma de decisiones; las autoras guían al lector a través de un proceso integrado que va más allá del enfoque convencional de la investigación agrícola.

En este contexto, se subraya la importancia de considerar factores ambientales, políticos, socioculturales, económicos, tecnológicos y de manejo que afectan a los sistemas, asimismo, la participación de los actores del sistema en todas las fases del proceso se revela como clave para el éxito de las intervenciones, logrando así el enfoque sistémico y transdisciplinario que distingue a AMSTIA. Finalmente, se destaca el papel del investigador quien pasa de ser un observador a un actor activo del sistema.

Esta metodología es flexible y puede adaptarse a las condiciones que imperan en los agroecosistemas. Al considerar los requerimientos mínimos necesarios para obtener resultados confiables, AMSTIA se posiciona como una herramienta invaluable para aquellos comprometidos con la mejora sustentable de los agroecosistemas.

En resumen, AMSTIA ofrece una visión multidimensional, sistémica y transdisciplinaria, así como un enfoque práctico y aplicable para quienes buscan soluciones concretas en el complejo entramado de la producción agrícola. Este libro será de interés para estudiantes, académicos, investigadores y profesionales comprometidos con la sustentabilidad y la mejora continua de los sistemas agrícolas.



Martha Elena Domínguez Hernández es Doctora en Ingeniería de Sistemas. Profesora-investigadora del Departamento de Ciencias Agrícolas de la FES Cuautitlán UNAM. Investigadora del SNII del Conahcyt, nivel I. Realiza investigación y docencia relacionada con la sustentabilidad, circularidad y seguridad alimentaria en los sistemas agrícolas.



Rosalba Zepeda Bautista es Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora en el Posgrado en Ingeniería de Sistemas del Instituto Politécnico Nacional. Investigadora del SNII del Conahcyt, nivel III. 20 años en investigación, docencia y vinculación en sustentabilidad de los sistemas de producción de alimentos, mejoramiento genético y equipos agrícolas.



Dimensions



[DOI.ORG/10.52501/CC.183](https://doi.org/10.52501/CC.183)



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"



COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA PUBLICACIONES
ARBITRADAS

HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS
www.comunicacion-cientifica.com

ISBN-13: 978-6079104474

