

MESBI: Un Modelo de Estrategias Sostenibles para la Agricultura

Rubén Alexis Flores-Nava, Alina Juantorena-Ugás y Jesús del Carmen Peralta-Abarca *

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

* Autor de correspondencia: carmen.peralta@uaem.mx.

Desarrollo Sustentable (Agricultura Sustentable)

Recibido: 23 de abril de 2025

Aceptado: 7 de junio de 2025

Publicado: 31 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.450>

Resumen: El propósito de esta investigación es desarrollar un Modelo de Estrategias Sostenibles Basado en Indicadores (MESBI), orientado a optimizar la producción de aguacates de forma sostenible en la región norte del estado de Morelos, México, durante el año 2024. El modelo se fundamenta en indicadores ambientales, que permiten evaluar el impacto de las prácticas agrícolas y diseñar estrategias orientadas a la conservación ambiental y la gestión eficiente de los recursos. MESBI siguió seis etapas: diagnóstico, objetivos SMART, selección de indicadores, implementación, evaluación continua y comunicación. Se realizó un análisis de estos indicadores y una intervención social mediante encuestas dirigidas a 15 productores con más de 2 ha en Huitzilac (75 % de la localidad); con el fin de identificar áreas críticas de mejora y fomentar prácticas sostenibles. Asimismo, se elaboró un mapa estratégico y un plan de acción con metas SMART para conservar el suelo, preservar la biodiversidad y optimizar el uso de agroquímicos. Los resultados resaltan el valor de los indicadores ambientales para la toma de decisiones informadas. Aunque la mayoría de los productores emplea agroquímicos, existe disposición para adoptar prácticas más responsables. MESBI proporciona una metodología estructurada que permite evaluar y mitigar el impacto ambiental de la producción agrícola. Se concluye que la integración de este modelo puede mejorar significativamente la sostenibilidad del cultivo de aguacate, promoviendo una gestión eficiente de los recursos naturales y minimizando efectos negativos en el ecosistema.

Palabras clave: sostenibilidad agrícola, gestión ambiental, indicadores ambientales, cultivo de aguacate

MESBI: A Model of Sustainable Strategies for Agriculture

Abstract: The purpose of this research is to develop a Model of Sustainable Strategies Based on Indicators (MESBI), aimed at optimizing avocado production sustainably in the northern region of the state of Morelos, Mexico, during 2024. The model is based on environmental indicators that allow for evaluating the impact of agricultural practices and designing strategies focused on environmental conservation and efficient resource management. MESBI followed six stages: diagnosis, SMART objectives, indicator selection, implementation, continuous evaluation, and communication. An analysis of these indicators and a social intervention through surveys directed at 15 producers with more than 2 ha in Huitzilac (75 % of the locality) were carried out to identify critical areas for improvement and promote sustainable practices. Furthermore, a strategic map and an action plan with SMART goals were developed to conserve soil, preserve biodiversity, and optimize agrochemical use. The results highlight the value of environmental indicators for informed decision-making. Although most producers use agrochemicals, there is a willingness to adopt more responsible practices. MESBI provides a structured methodology that enables the evaluation and mitigation of the environmental impact of agricultural production. It is concluded that integrating this model can significantly improve the sustainability of avocado cultivation by promoting efficient management of natural resources and minimizing negative effects on the ecosystem.

Keywords: agricultural sustainability, environmental management, environmental indicators, avocado production

Introducción

Un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) integra prácticas destinadas a prevenir la contaminación, cumplir la normativa y mejorar continuamente el desempeño ecológico de las organizaciones. Se trata de un conjunto de procesos y prácticas que ayudan a las organizaciones a identificar, evaluar y gestionar su impacto ambiental. El SGA permite a las empresas controlar los procesos que podrían generar daños al medio ambiente, minimizando dichos impactos y mejorando el rendimiento de sus operaciones (Acuña *et al.*, 2017). Su implementación no solo incrementa la competitividad y mejora la imagen corporativa, sino que también optimiza los recursos, facilita el diálogo con grupos de interés, evita sanciones legales, reduce riesgos y fomenta la innovación técnica (Rey, 2008).

Los indicadores ambientales son herramientas clave para estudios de la biodiversidad. Se definen como variables que sintetizan fenómenos complejos, que permiten monitorear la calidad ambiental a través de mediciones sistemáticas

en series temporales y espaciales (Therburg *et al.*, 2005). Estudios recientes han demostrado su valor para evaluar procesos ambientales y respaldar políticas sostenibles (Jiménez-Moreno *et al.*, 2019).

Diversos trabajos han abordado el diagnóstico ambiental en la agricultura, por ejemplo, estudios sobre prácticas agrícolas en el cultivo del maíz en Santa Catarina Tabernillas, Almoloya de Juárez (Martínez, 2022). Se utilizaron recorridos de campo, entrevistas, grupos focales y talleres para obtener diagnósticos ambientales precisos mediante análisis FODA. Ambos trabajos destacaron el programa “Producción para el Bienestar”, que, mediante asesoría técnica y promoción de la agroecología, fortalece comunidades rurales, preserva la soberanía alimentaria y el valor cultural de la agricultura.

En otro estudio se investigó la producción de aguacate en Chapa de Nuevo, Salvador Escalante, Michoacán, (Magallán Villalón, 2022). Se utiliza un muestreo intencionado y encuestas semiestructuradas. El diagnóstico agroambiental obtenido permitió identificar problemas y oportunidades para diseñar estrategias sostenibles en el manejo de recursos naturales.

La agricultura sustentable, que busca equilibrar la producción eficiente con la conservación de los recursos naturales, depende de factores como la experiencia, el conocimiento tecnológico y social, la escala de producción y la aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas (López *et al.*, 2012; Aguilera Peña, 2022; Ruiz, 2023). Además, el uso de mapas estratégicos permite identificar directrices, optimizar la asignación de recursos y mejorar los procesos internos (Fellner, 2020; Ghiglione, 2021).

En este contexto, surge el Modelo de Estrategias Sostenibles Basado en Indicadores (MESBI), una herramienta que integra diagnósticos ambientales iniciales, objetivos SMART y monitoreo continuo para evaluar y mejorar la sustentabilidad en la producción agrícola. MESBI se diferencia de enfoques aislados al vincular indicadores específicos con estrategias de intervención, permitiendo una comunicación efectiva entre productores y actores clave (Luna, 2021).

Ante la ausencia de estrategias sustentables en la producción de aguacate, que ha derivado en la contaminación progresiva del suelo por el uso intensivo de plaguicidas y fertilizantes químicos, este estudio tiene como objetivo desarrollar e implementar el modelo MESBI para evaluar y optimizar la sostenibilidad en la producción de aguacate en Huitzilac, Morelos, México.

Las conclusiones obtenidas indican que el modelo MESBI permitió identificar áreas críticas para mejorar las prácticas agrícolas en Huitzilac. El empleo de indicadores ambientales facilitó una evaluación detallada del impacto ecológico y social de las actividades productivas, y la disposición de los productores evidenció un entorno favorable para la implementación del modelo. Para replicar MESBI en otras regiones, se recomienda establecer programas de capacitación que sensibilicen a los productores sobre los beneficios de las prácticas sostenibles, generar incentivos económicos o fiscales que promuevan la transición hacia técnicas más responsables y así, fortalecer alianzas con organismos internacionales como la FAO, para asegurar la transferencia de tecnología y conocimientos.

El enfoque de este modelo es aplicable a otros cultivos, como el café y el cacao, lo que podría contribuir significativamente a la optimización del uso de recursos y la reducción del impacto ambiental. Se sugiere realizar estudios piloto en zonas productivas distintas para validar su eficacia en diversos entornos. La Figura 1 representa las etapas clave del modelo, cada etapa incluye objetivos SMART que garantizan la sostenibilidad de la producción agrícola.



Figura 1. Modelo de Estrategias Sostenibles Basado en Indicadores (MESBI).

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en las huertas de aguacate en Huitzilac, Morelos, con el objetivo de evaluar y mejorar la producción sostenible de aguacates. La muestra se compone de 15 productores, lo que representa el 75% de los productores de la localidad, seleccionados por criterios de accesibilidad y disposición para participar en el proyecto. Esta estrategia permitió obtener información inmediata y focalizada sobre las condiciones actuales de la producción de aguacate, pero, se reconoce que el grupo analizado puede no ser representativo de la totalidad de los productores de la región. Por lo anterior, el diagnóstico presentado se considera preliminar; esta aproximación exploratoria resulta valiosa para identificar áreas críticas y establecer tendencias, sirviendo como base para estudios futuros que incluyan muestras más amplias para validar y generalizar los hallazgos obtenidos.

El diagnóstico inicial buscó identificar el estado actual de la producción y las principales áreas de oportunidad. Se observó que la mayoría de los productores utiliza formulaciones químicas o combinadas (pesticidas y fertilizantes) debido a su eficacia. Los productores seleccionados pertenecen a la localidad donde se tuvo acceso directo para realizar el estudio, lo que facilitó la recopilación de información.

Del mismo modo, para combatir las plagas, prefieren el método de fumigación foliar. También cabe destacar que los productores de aguacate son personas capacitadas y con experiencia, ya que la mayoría tiene conocimientos sobre la sustentabilidad, utilizan productos autorizados por la APEAM (Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México). Además, están dispuestos a participar en programas de certificación y sustentabilidad para mejorar la producción de aguacate en sus huertas.

Aplicación de la Metodología MESBI

La metodología del trabajo se basa en la herramienta MESBI, con la secuencia de actividades necesarias para organizar la recolección de datos, que serán analizados posteriormente para la generación de las estrategias sustentables. El Modelo MESBI integra la sustentabilidad en las estrategias empresariales mediante indicadores que miden el desempeño ambiental y social con las siguientes etapas:

1. Diagnóstico inicial: Se realizaron encuestas a 15 productores para identificar áreas de oportunidad y analizar las prácticas actuales.
2. Definición de objetivos: Se establecieron objetivos SMART (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con un plazo definido) en cada uno de ellos, estableciendo metas a corto, mediano y largo plazo, además deben estar alineados con la estrategia de la empresa.
3. Identificación de indicadores: Se seleccionaron métricas clave para evaluar aspectos como la calidad del suelo, la biodiversidad y el uso de agroquímicos. Estos indicadores evalúan el impacto ambiental, permitiendo ajustar estrategias con datos precisos para optimizar recursos y reducir daños al ecosistema.
4. Implementación de estrategias: Se promovieron acciones como la reducción de insumos dañinos y la adopción de técnicas sostenibles, para mejorar el desempeño de la empresa en cada una de las áreas identificadas.
5. Monitoreo y evaluación: Para asegurar que se están alcanzando los objetivos establecidos y que se están logrando mejoras en el desempeño de la empresa, los indicadores fueron evaluados continuamente para ajustar las estrategias según los resultados para asegurar que se está avanzando hacia la sustentabilidad.
6. Comunicación: Es importante comunicar los avances y los resultados obtenidos en la implementación de la estrategia de sustentabilidad por eso se mantuvo un diálogo constante con productores, clientes y actores clave para fomentar la adopción de prácticas sostenibles.

Para fortalecer el rigor metodológico del estudio, se establecieron criterios rigurosos para la selección y validación de los indicadores ambientales, así como para el análisis de la información recolectada. Cada indicador se eligió por su relevancia en la medición del impacto ambiental y social, su facilidad de obtención y su capacidad para detectar variaciones en las prácticas agrícolas. La validación de estos indicadores se realizó a través de una exhaustiva revisión de la literatura y consultas con expertos en el área, lo que aseguró tanto su pertinencia como su solidez científica.

El análisis de la información se realizó mediante técnicas estadísticas descriptivas y comparativas, lo que permitió identificar tendencias, variaciones y patrones significativos en los datos. Para ello, se procedió a la codificación de las

respuestas de la encuesta utilizando escalas de Likert, obteniéndose frecuencias, porcentajes y medidas de tendencia central que resumen de forma clara las características del fenómeno estudiado y el comportamiento de la muestra.

Adicionalmente, se efectuó un cruce sistemático de datos con estudios previos, permitiendo comparar los hallazgos actuales (por ejemplo, las prácticas de manejo de la huerta) con la información disponible en la literatura, lo que aporta un componente comparativo al análisis. Este proceso se llevó a cabo de manera continua, facilitando el ajuste de los indicadores a las condiciones específicas del entorno de estudio y garantizando así la validez de los resultados.

La confiabilidad del instrumento se comprobó mediante el coeficiente alfa de Cronbach, alcanzándose un valor de 0.86, lo que evidencia una excelente consistencia interna. Asimismo, cabe destacar que la selección de la muestra se realizó utilizando el método no probabilístico "Bola de Nieve", apropiado para abordar el estudio en el contexto específico de Huitzilac, Morelos.

En conjunto, la combinación de la síntesis cuantitativa de la información y la comparación sistemática con referencias bibliográficas respalda un análisis integral y riguroso. Estos procedimientos validaron y permitieron ajustar los indicadores ambientales propuestos en el marco del Modelo MESBI, asegurando que el enfoque metodológico se enmarca efectivamente dentro de las técnicas estadísticas descriptivas y comparativas empleadas en el estudio.

Resultados

Levantamiento de Datos

La encuesta se aplicó a 15 productores de aguacate con más de 2 hectáreas de terreno, a quienes denominamos participantes potenciales. Todos respondieron a la encuesta, que se administró en formato físico y cuyos datos se analizaron posteriormente en Excel.

El modelo propuesto, MESBI, es una herramienta de gestión ambiental diseñada para desarrollar indicadores y estrategias sustentables que optimicen los procesos y permitan alcanzar una producción de aguacate más sostenible.

Tras obtener las respuestas de cada productor en el diagnóstico aplicado, se analizan los datos en Excel para calcular la moda de cada pregunta y el porcentaje de las respuestas, como se muestra en la Tabla 1. La excepción es la pregunta 3, que es abierta. Este análisis permite proponer indicadores ambientales y estrategias sustentables para abordar las áreas de oportunidad identificadas.

Tabla 1. Análisis de datos

PREGUNTA	MODA(Respuesta)	PORCENTAJE
1. ¿Cuál es su rango de edad?	Más de 50 años	37 %
2. ¿Cuánto tiempo lleva en la producción de aguacate?	6 a 10 años	46 %
4. ¿Qué variedad de aguacate cultiva en su huerta?	Hass Flor de María	64 %
5. ¿Cuáles son los cuidados que usted aplica a la huerta de aguacate?	Monitoreo de enfermedades	64 %
6. ¿Qué tan importante considera la utilización de fertilizantes químicos de acuerdo con los resultados de análisis de suelo?	Muy importante	73 %
7. ¿Con qué frecuencia aplica fertilizantes?	3 veces al año	37 %
8. ¿Qué tipo de Fertilizante ocupan en el cuidado del aguacate?	Formulaciones Químicas	55 %
9. ¿Considera útil la aplicación de algún método para el control de plagas?	Muy Importante	73 %

Tabla 1 (Continuación). Análisis de datos

PREGUNTA	MODA(RESUESTA)	PORCENTAJE
10. ¿Qué métodos utilizan para el control de plagas?	Fumigaciones foliares (de acuerdo con el tipo de plaga)	100 %
11. ¿Con qué frecuencia se aplica el control de plagas?	Por recomendaciones técnicas	55 %
12. ¿Cuáles son los nutrientes más aplicados en la producción del aguacate?	Macronutrientes (Fósforo, Potasio y Nitrógeno) Micronutrientes (Magnesio, Manganeso, Zinc, Boro, Hierro)	100 %
13. ¿Qué tipo de análisis se realizan para determinar las necesidades nutricionales del aguacate?	Análisis de suelo	82 %
14. ¿Cuáles son las prácticas de riego que utilizan para el cultivo de aguacate?	Temporal	91 %
15. ¿Su fuente de agua para riego es utilizada además para otras actividades?	No	91 %
16. ¿Tiene idea de la cantidad de agua que utiliza para el riego?	Sí	82 %
17. ¿Qué hace con los desechos agrícolas (ramas, poda de arvenses, etc.) generados en la huerta de aguacate?	Compostaje	64 %
18. ¿Ha presentado erosión del suelo en su huerta?	No	91 %
19. ¿Qué medidas toma para evitar la erosión del suelo?	Mantener arvenses menor a 15 cm de altura	55 %
20. ¿Cuáles acciones realiza para conservar la biodiversidad (plantas, animales y microorganismos) en tu huerta?	Utilización de productos autorizados por APEAM	46 %
21. ¿Conoce qué es el desarrollo sostenible?	Sí	82 %
22. ¿Cómo considera la conservación del medio ambiente en la producción del aguacate?	Muy Importante	55 %
23. ¿Estaría dispuesto a participar en programas de certificación o sostenibilidad para mejorar la producción de aguacate?	Sí	100 %

Resultados cuantitativos más destacados

Del análisis de la Tabla 1 sobresalen los siguientes hallazgos: el 100 % de los productores utiliza fumigaciones foliares como método de control de plagas, mientras que el 82 % realiza análisis de suelo para ajustar la nutrición de sus parcelas. El 91 % no ha observado erosión del suelo y la misma proporción emplea riego temporal; no obstante, sólo el 46 % preserva la biodiversidad con productos autorizados por APEAM y el 55 % considera “muy importante” la conservación ambiental en su operación. Estas cifras confirman que, aunque existe una fuerte dependencia de agroquímicos (55 % formulaciones químicas y 73 % de productores califica su uso como “muy importante”), también hay apertura a prácticas de monitoreo y análisis de suelo.

Para evaluar la sostenibilidad en la producción de aguacate, se emplearon indicadores ambientales clave. En la Tabla 2 se presentan los principales indicadores analizados, su aplicación y su contribución a la toma de decisiones agrícolas.

Tabla 2. Indicadores ambientales seleccionados y sus acciones en el cultivo

Nombre del Indicador	Tipo de Indicador	Lugar de Aplicación	Acción que se Realiza	Aporte	Referencias
Calidad del Suelo	Ambiental	Suelo agrícola	Medición del pH, materia orgánica y estructura del suelo.	Evalúa la fertilidad y salud del suelo, optimizando el uso de fertilizantes y mejorando la productividad.	(Navarrete <i>et al.</i> , 2011); (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002); (García <i>et al.</i> , 2012).
Uso de Nutrientes	Ambiental	Suelo y tejido foliar	Monitoreo de macro y micronutrientes esenciales (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, B).	Permite ajustar la fertilización para optimizar el crecimiento y producción del cultivo.	(OECD, 1999); (Ríos-Castillo <i>et al.</i> , 2018); (Lazcano-Ferrat & Espinosa, 1998); (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002)
Minimización del uso de Pesticidas	Ambiental	Suelo y cultivos	Aplicación regulada de pesticidas siguiendo normas de seguridad.	Minimiza el impacto ambiental y en la salud humana, asegurando el cumplimiento de los límites máximos de residuos (LMR).	(OECD, 1999); (Campos <i>et al.</i> , 2017); (Diario Oficial de la Federación, 2017); (FAO, 2019).
Minimización del uso de Fertilizantes Químicos	Ambiental	Suelo y base de la planta	Implementación de buenas prácticas en la fertilización.	Mejora la calidad del suelo y la producción agrícola, optimizando el uso de fertilizantes.	(Romero, 2022); (Agricultura y Desarrollo rural, 2022); FAO, 2019; FAO, 2002

Diseño de Estrategias

Partiendo de estos resultados, se desarrolló un mapa estratégico sustentable que prioriza la conservación del suelo, la biodiversidad y el manejo adecuado de agroquímicos, al tiempo que impulsa el fortalecimiento de competencias mediante la capacitación y certificación de los productores. Estas estrategias, diseñadas para equilibrar la producción eficiente con la protección ambiental y el bienestar social, se plasman en un modelo unificado y organizado (Figura 2) fundamentado en distintos grados de acción. El mapa Estratégico se estructura en cuatro áreas clave, cada una con sus propias estrategias y metas específicas, orientadas a incrementar la sostenibilidad en la agricultura.

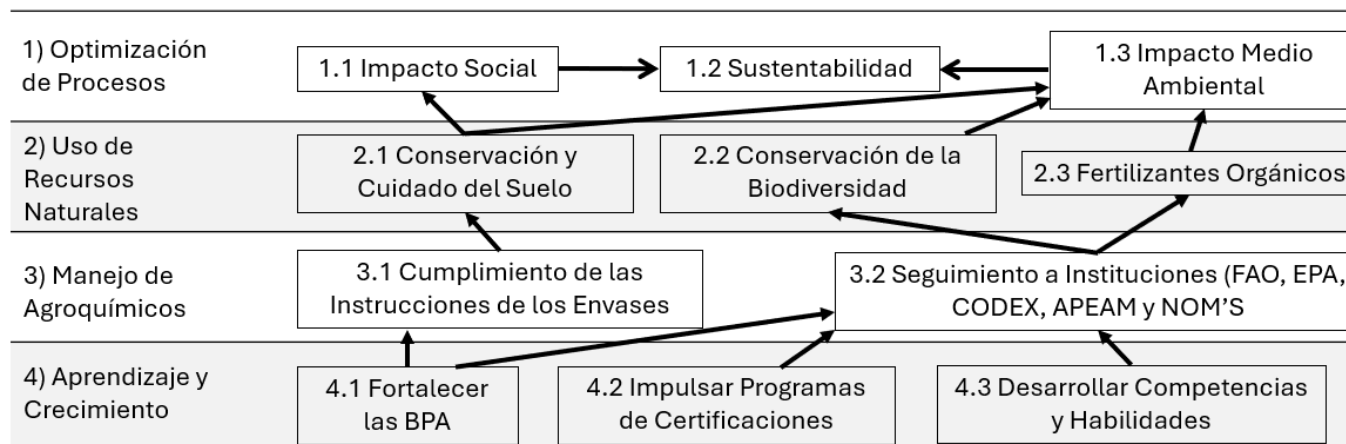


Figura 2. Mapa Estratégico de Sostenibilidad Agrícola

Cada parte del mapa está vinculada, garantizando que la producción sea más eficaz, respetuosa con el medio ambiente y socialmente equitativa. Este mapa estratégico actúa como una guía para la implementación de mejoras en la gestión agrícola, facilitando el diseño de estrategias particulares de sustentabilidad en huertos o cultivos. Además permite la evaluación y/o modificación del rendimiento de los procesos productivos, garantizando un uso eficaz de los recursos fomentando prácticas responsables del sector agrícola.

Resultados del análisis del mapa estratégico propuesto

Este mapa permite visualizar las interdependencias entre los cuatro niveles de acción y facilita la priorización de intervenciones. A continuación, se describe el análisis de cada punto del mapa estratégico y su área de impacto:

1. Optimización de Procesos:

- 1.1. Impacto Social: Este punto se refiere a los efectos positivos en la comunidad, como la mejora de condiciones laborales dentro de la huerta, el bienestar social, así como el trabajo en conjunto tanto hombres como mujeres para obtener beneficios sociales derivados a las prácticas agrícolas sustentables.
- 1.2. Sustentabilidad: Representa el objetivo principal del mapa, que es alcanzar un equilibrio entre el desarrollo social y ambiental.
- 1.3. Impacto Ambiental: Principalmente se enfoca en reducir el impacto negativo sobre el medio ambiente, a través de buenas prácticas y el máximo aprovechamiento de los recursos naturales.

2. Uso de Recursos Naturales:

- 2.1. Conservación y Cuidado del Suelo: Se enfatiza en la salud del suelo para prevenir su degradación en las prácticas agrícolas, mejorar o mantener su fertilidad a largo plazo.
- 2.2. Conservación de la Biodiversidad: Implica en la protección de la diversidad biológica, manteniendo la preservación de especies y ecosistemas.
- 2.3. Fertilizantes Orgánicos: Promueve el uso de fertilizantes naturales que son más amigables para el medio ambiente que los fertilizantes químicos, contribuyendo así a la salud del suelo y reduciendo la contaminación.

3. Manejo de Agroquímicos:

- 3.1. Cumplimiento a las Instrucciones de los Envases: Destaca en la importancia de seguir las instrucciones al momento de utilizar productos agroquímicos para minimizar riesgos para la salud y el medio ambiente.
- 3.2. Seguimiento a Instituciones (EPA, CODEX, APEAM, NOM's): Asegura que las prácticas agrícolas cumplan con los estándares establecidos por organizaciones nacionales e internacionales, garantizando así la seguridad y calidad.

4. Aprendizaje y Crecimiento:

- 4.1. Fortalecer las BPA: Se enfoca en mejorar y aumentar la eficiencia en las prácticas agrícolas, garantizando productos de alta calidad y minimizando un impacto ambiental negativo.
- 4.2. Impulsar Programas de Certificaciones: Promueve la obtención de certificaciones que validen la sustentabilidad en la producción, mejorando sus procesos, aumentar la confianza del consumidor y así abriéndose a nuevos mercados.
- 4.3. Desarrollar Competencias y Habilidades: Se centra en la capacitación y desarrollo continuo de los trabajadores y productores para fortalecer sus conocimientos y técnicas, adaptándose a nuevas tecnologías y métodos.

Análisis del Entorno y Clasificación de la Información

Es evidente que los productores de aguacate son personas capacitadas y con experiencia, ya que la mayoría tiene conocimientos sobre el desarrollo sustentable. Utilizan productos autorizados por la APEAM, previenen la erosión del suelo y realizan compostaje con los desechos orgánicos generados en la producción de aguacate. Además, están dispuestos a participar en programas de certificación y sustentabilidad para mejorar la producción de aguacate.

Sin embargo, una de las áreas de oportunidad identificadas en el diagnóstico es el uso de fertilizantes. Los productores consideran de gran importancia el uso de formulaciones químicas o combinadas, siendo este el método más utilizado. Del mismo modo, para combatir las plagas, prefieren el método de fumigación foliar.

Plan Estratégico

En la Fig. 3, se presenta el Plan de Estrategias Propuestas (Plan Estratégico), muestra el proceso a seguir para lograr la Sustentabilidad en la Producción de Aguacate, en poblado de Huitzilac, Morelos:

- Capacitación y asistencia técnica continua a los productores de aguacate de la región en Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), con el fin de mejorar la calidad del cultivo.
- Impulso a programas de certificación, para que los productores adquieran nuevas competencias y habilidades, otorgando un valor agregado al mercado del aguacate que valora la sustentabilidad.
- Seguimiento de normativas y estándares internacionales y locales, como los de la FAO, EPA, CODEX ALIMENTARIUS, APEAM y las normativas locales (NOM's), para asegurar el cumplimiento de los estándares de seguridad alimentaria.
- Implementación de prácticas de conservación del suelo, como la gestión de residuos (compostaje) y la cobertura vegetal, para mantener la fertilidad y reducir la erosión.
- Instalación de sistemas de riego por goteo y almacenamiento de agua de lluvia, maximizando su uso en temporadas secas, lo que ayuda a evitar la erosión y reducir el consumo de agua.

Estas estrategias buscan optimizar la producción de aguacate de manera sostenible reducir el impacto ambiental negativo y generar conciencia en la sociedad sobre el buen uso y aprovechamiento de los recursos naturales (Comas-Rodríguez *et al.*, 2014; Ghiglione, 2021; Cañar-Rivera *et al.*, 2020). Con la información recopilada, se desarrolló un plan estratégico (Figura 3) que presenta las propuestas de manera clara y accesible para los productores de aguacate, garantizando una comunicación efectiva y comprensible.



Figura 3. Plan Estratégico para la producción sostenible de aguacate

Nuestros resultados respaldan la hipótesis H1 —los indicadores ambientales detectan áreas críticas—, ya que la medición del pH reveló que un 64 % de las parcelas opera fuera del rango óptimo 6,0–7,0, coincidiendo con estudios de la (OECD, 1999) y de (Magallán Villalón, 2022) en Michoacán. Además, la apertura al análisis de suelo y a programas de certificación valida la hipótesis H2 sobre la disposición de los productores a adoptar prácticas sostenibles, acorde con lo observado por (Jiménez-Moreno *et al.*, 2019) en cultivos de café. La elección mayoritaria de riego temporal —también reportada por (Martínez, 2022) en Tabernillas— puede responder a limitaciones de infraestructura, lo cual sugiere la necesidad de investigar sistemas de riego tecnificado como goteo (FAO, 2002).

Discusión

Los resultados no solo confirman la capacidad de MESBI para identificar áreas críticas (como el pH subóptimo y la dependencia de pesticidas), también implican un cambio de paradigma en la gestión de huertos de aguacate en Morelos. Mientras que los diagnósticos previos, como los de (Martínez; 2022) o (Magallán Villalón, 2022), se limitaron a asesoría técnica puntualizada, MESBI traduce esas recomendaciones en objetivos SMART y en un mapa estratégico que da prioridad a acciones con plazos y responsables claros. Las intervenciones dejan de ser reactivas para convertirse en procesos dinámicos y medibles, capaces de adaptarse en tiempo real a variaciones en el entorno, por ejemplo ajustando indicadores de riego o materia orgánica a la primera evidencia de desequilibrio. En la práctica, este enfoque estructurado facilita una adopción más ágil de Buenas Prácticas Agrícolas y fomenta la rendición de cuentas de los actores involucrados, elevando la sostenibilidad de la producción de aguacate más allá de lo logrado con metodologías tradicionales. Estos hallazgos respaldan la hipótesis H1, al demostrar que los indicadores permiten detectar áreas críticas como el desequilibrio del pH y el uso intensivo de insumos químicos; también se valida la hipótesis H2 al evidenciar la apertura de los productores hacia prácticas sostenibles. Esta validación empírica proporciona una base sólida para futuras investigaciones, especialmente aquellas que busquen implementar MESBI en diferentes contextos o evaluar su impacto social y económico a mediano plazo.

Limitaciones del estudio

Este estudio emplea un muestro no probabilístico de “bola de nieve” aplicado a 15 productores, lo que limita la representatividad estadística y puede generar sesgos de selección. Al ser un diseño “No experimental y transversal”, no permite establecer causalidad ni evaluar la variación estacional de indicadores como humedad y temperatura. El usar encuestas en formato físico y análisis en Excel, hay un riesgo de errores de transcripción. Futuras investigaciones podrían reducir estas limitaciones implementando muestreos aleatorios estratificados, herramientas digitales de recolección de datos y diseños de seguimiento a lo largo de varias temporadas agrícolas.

Líneas de investigación futura

Para profundizar, se proponen estudios longitudinales de 2 años que evalúen la evolución del pH y la materia orgánica tras la aplicación de compostaje y biofertilizantes. También, sería importante comparar la eficacia de MESBI en otro tipo de cultivos (como el café o cacao) y con regiones con muestras mayores, al menos 30 o más productores, para poder validar su generalidad. Otro enfoque futuro es incorporar un análisis de costo-beneficio para cuantificar el impacto económico de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y el retorno de inversión de sistemas de riego tecnificado. Se recomienda explorar variables sociales y culturales, como género, nivel educativo, para desarrollar programas de capacitación acordes a las variables encontradas.

Conclusiones

El modelo MESBI permitió identificar áreas críticas para mejorar las prácticas agrícolas en Huitzilac, Morelos. Los indicadores ambientales facilitaron una evaluación detallada del impacto ecológico y social de las actividades productivas, mientras que la disposición de los productores sugiere un entorno favorable para su implementación. Para replicar este modelo en otras regiones, se recomienda:

- Establecer programas de capacitación para sensibilizar a productores sobre los beneficios de prácticas sostenibles.
- Generar incentivos económicos o fiscales que promuevan la transición hacia técnicas más responsables.

- Fortalecer las alianzas con organismos internacionales, como la FAO, para garantizar la transferencia de tecnología y conocimiento.

El modelo MESBI presenta un enfoque que se puede replicar en otros cultivos como el café y el cacao, donde la gestión sostenible de suelos y agroquímicos es fundamental. Su aplicación en diferentes regiones podría contribuir significativamente a la optimización del uso de los recursos y la reducción del impacto ambiental. Para validar la eficacia del modelo en otros entornos, se recomienda realizar estudios piloto en distintas zonas productivas.

Agradecimientos y financiamiento: A CONACYT por financiar el Proyecto (1270351) del Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables, en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. Especial reconocimiento al Grupo de Productores "QUIAUHTZIN" por su apoyo en la investigación de campo y a las Dras. Irene de la Concepción Perea Arango, Ma. del Carmen Torres Salazar y Mtra. Elizabeth Millán Benítez por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

Bibliografía

- Acuña, N., Figueroa, L., & Wilches, M. J. (2017). Influencia de los sistemas de gestión ambiental ISO 14001 en las organizaciones: Caso estudio empresas manufactureras de Barranquilla. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(1), 143–153.
- Aguilera Peña, R. (2022). Estrategias agroecológicas para una agricultura sostenible. *Revista Científica Eciencia*, 9, 138–150. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.90.758>
- Cañar-Rivera, J. P., Urgiles-Vicuña, J. H., Ochoa-Crespo, J. D., & Torres-Palacios, M. M. (2020). El mapa estratégico en las organizaciones públicas. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 5(3), 518–543. <https://doi.org/10.35381/r.k.v5i3.910>
- Campos, J. R., Reyes, E. A., & Lugo, C. E. C. (2017). Inocuidad en aguacate. En *Inocuidad y trazabilidad en los alimentos mexicanos*. CIATEJ, Guadalajara, Jalisco, México. <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/634>
- Comas-Rodríguez, R., Nogueira-Rivera, D., & Medina-León, A. (2014). El control de gestión y los sistemas de información: Propuesta de herramientas de apoyo. *Ingeniería Industrial*, 35(2), 21.
- Diario Oficial de la Federación. (2017). *NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017: Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos de residuos, lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión* (pp. 4–228).
- FAO. (2002). *World fertilizer use manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2019). *Código internacional de conducta para el uso y manejo de fertilizantes*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fellner, A. (2010). Introducción a los mapas estratégicos. *Enfoques*, 4, 25–33. Universidad Nacional de Salta. https://biblioteca.unsa.edu.ar/pmb/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=6757
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125–138. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&tling=es
- Ghiglione, F. A. (2021). El cuadro de mando integral como herramienta de eficiencia en la gestión empresarial. *Ciencias Administrativas*, 18, 87–93. <https://doi.org/10.24215/23143738e088>
- Jiménez-Moreno, M. J., Rodríguez-Laguna, R., Escalona-Maurice, M. J., Razo-Zárate, R., & Acevedo-Sandoval, O. A. (2019). Análisis de indicadores ambientales espacio-temporales de agua, suelo y vegetación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1641–1652. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1806>
- Lazcano-Ferrat, I., & Espinosa, J. (1998). Manejo de la nutrición del aguacate. *Informaciones Agronómicas*, 3, 3–6.
- López, E. G., Guampe, C. P., Melgarejo, L. M., & Carvajal, L. H. (2012). Manejo agronómico de gulupa (*Passiflora edulis Sims*) en el marco de las buenas prácticas agrícolas. En *Ecofisiología del cultivo de la gulupa (Passiflora edulis Sims)*, 123.
- Luna, R. N. S. (2021). *M.E.S.B.I. Una nueva herramienta de gestión* [Video en línea]. Colegio Nacional de Ingenieros Industriales, A.C. <https://www.youtube.com/watch?v=jsRITBjdtCY>
- Magallán Villalón, J. J., Bautista Hernández, M. Á., & Herrera Camacho, J. (2022). *Producción de aguacate en la localidad Chapa de Nuevo, municipio de Salvador Escalante Michoacán, México*. UNAM-AMECIDER. ISBN: 978-607-30-6938-0.
- Martínez, D. R. (2022). *Diagnóstico ambiental de las prácticas agrícolas en parcelas cultivadas con maíz en Santa Catarina Tabernillas, Almoloya de Juárez, México*. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/137438>
- Navarrete, A., Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. D. L. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *Revista Contactos*, 80, 29–37.
- OECD. (1999). *Environmental indicators for agriculture: Concepts and framework* (Vol. 1). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264173873-en>
- Rey, C. (2008). Sistemas de gestión ambiental. *Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental*, 7, 42. Escuela de Negocios. <https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/componente45760.pdf>
- Ríos-Castillo, I., Acosta, E., Samudio-Núñez, E., Hruska, A., & Gregolin, A. (2018). Beneficios nutricionales, agroecológicos y comerciales de las legumbres. *Revista Chilena de Nutrición*, 45, 8–13. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182018000200008>
- Romero, O. D. (2022). *Impacto del uso de fertilizantes químicos en la producción del cultivo de naranja (Citrus sinensis L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11317>
- Ruiz, R. O. (2023). *Estrategias agroalimentarias sostenibles como respuesta al deterioro ambiental en el territorio de la Frailesca, Chiapas, México*. Universidad Autónoma de Chapingo. <https://doi.org/10.35197/rx.19.03.2023.03.rr>
- Salgado Sánchez, R. (2015). Agricultura sustentable y sus posibilidades en relación con consumidores urbanos. *Estudios Sociales (Hermosillo, Son.)*, 23(45), 113–140. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572015000100005&lng=es&tling=es

-
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (s. f.). *¿Qué tanto sabes del pH del suelo?* <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/que-tanto-sabes-del-ph-del-suelo>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *NOM-021-RECNAT-2000: Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*, 13–58.
- Therburg, A., D'Inca, V., & López, M. (2005). Modelo de indicadores ambientales: Observatorio ambiental. *Proyección*, 3, 17. <https://bdigital.uncu.edu.ar/3152>