



## Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema de limón persa (*Citrus latifolia*) a escala comunitaria: Un enfoque retrospectivo †

[Sustainability assessment of the persian lime (*Citrus latifolia*) agroecosystem at the community scale: A retrospective approach]

Mario Gómez-Peralta, Oscar Pérez-García\*, Gildardo Bautista-Hernández and Marja Liza Fajardo-Franco

Universidad Intercultural del Estado de Puebla. Calle principal a Lipuntahuaca S/N. CP. 73475, Huehuetla, Puebla, México. Email: [mariogomp14@gmail.com](mailto:mariogomp14@gmail.com),

[oscar.perez@uiiep.edu.mx](mailto:oscar.perez@uiiep.edu.mx)\*, [gildardo.bautista@uiiep.edu.mx](mailto:gildardo.bautista@uiiep.edu.mx),  
[marjaliza.fajardo@uiiep.edu.mx](mailto:marjaliza.fajardo@uiiep.edu.mx)

\*Corresponding author

### SUMMARY

**Background.** Sustainability assessments in agroecosystems generally focus on comparing a conventional production system with an alternative one, thereby yielding limited information about the agroecosystem's evolutionary sustainability. **Objective.** To evaluate the development process of the Persian lime (*Citrus latifolia*) agroecosystem in terms of economic, environmental, and social sustainability. **Methodology.** The Framework for the Evaluation of Natural Resource Management Systems Incorporating Sustainability Indicators (MESMIS) was applied to assess the sustainability of the lime agroecosystem at the community level in *Insurgentes Socialistas*, Papantla, Veracruz. **Results.** Economic sustainability improved through a significant increase in the mean annual lime yield (from 11.8 to 14.4 t ha<sup>-1</sup>) and in the benefit–cost ratio per hectare (from 2.8 to 3.0). About the social sustainability, all producers in both periods implemented changes or modifications in their orchards. The area under citrus cultivation expanded markedly (from 175.4 to 740.5 ha). However, in terms of economic sustainability, the average number of complementary crops supporting household income decreased significantly (from 3.1 to 2.0). Likewise, in the social dimension, self-management declined by 27.5% in the proportion of individuals who belong to an organization. Regarding environmental issues, the mean number of associated crops in orchards decreased (from 2.6 to 0.8), while the mean number of pests and diseases increased significantly (from 6.2 to 7.6). **Implications.** Indicators deviating from the optimal level of sustainability might compromise the long-term sustainability of lime agroecosystems. **Conclusions.** Over time, economic indicators of the Persian lime agroecosystem from the community of *Insurgentes Socialistas* in Papantla, Veracruz improved, whereas certain social and environmental indicators weakened.

**Key words:** conventional crops; environmental history; community level; MESMIS.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Las evaluaciones de sustentabilidad en agroecosistemas se enfocan en comparar un sistema de producción convencional con uno alterno, lo que genera información limitada sobre el proceso evolutivo del agroecosistema en términos de sustentabilidad. **Objetivo.** Evaluar el proceso de desarrollo de los agroecosistemas con limón persa (*Citrus latifolia*) en términos de sustentabilidad económica, ambiental y social. **Metodología.** Se utilizó el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) para evaluar la sustentabilidad del agroecosistema de limón a nivel comunitario en *Insurgentes Socialistas*, Papantla, Veracruz. **Resultados.** La sustentabilidad económica mejoró al incrementar significativamente la producción promedio anual de limón persa (de 11.8 a 14.4 t ha<sup>-1</sup>) y la relación beneficio-costo por ha (de 2.8 a 3.0). En materia de sustentabilidad social, todos los productores de ambos periodos realizaron cambios o modificaciones en sus huertas. Se incrementaron notoriamente las hectáreas de cítricos (de 175,4 a 740,5 ha). Sin embargo, en cuanto a la sustentabilidad económica, disminuyó significativamente el número promedio de cultivos que complementaban el ingreso (de 3.1 a 2.0). Asimismo, en la dimensión social, la autogestión disminuyó en 27.5 % en

† Submitted September 9, 2025 – Accepted April 15, 2026. <http://doi.org/10.56369/isaes.6568>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = M. Gómez-Peralta: <https://orcid.org/0009-0005-2791-0287>; O. Pérez-García: <https://orcid.org/0000-0002-5278-6004>; G. Bautista-Hernández: <https://orcid.org/0000-0001-7670-7705>; M.L. Fajardo-Franco: <https://orcid.org/0000-0003-3306-9728>

la proporción de personas pertenecientes a una organización. En lo ambiental, disminuyó el número promedio de cultivos asociados en las huertas (de 2.6 a 0.8) y aumentó significativamente el número de plagas y enfermedades (de 6.2 a 7.6). **Implicaciones.** Los indicadores alejados del nivel óptimo de sustentabilidad pueden comprometer la sustentabilidad de los agroecosistemas con limón. **Conclusiones.** Con el paso del tiempo, mejoraron los indicadores económicos en agroecosistemas con limón persa en la comunidad Insurgentes Socialistas de Papantla, Veracruz, mientras que se debilitaron algunos indicadores sociales y ambientales.

**Palabras clave:** cultivos convencionales; historia ambiental; nivel comunitario; MESMIS.

## INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad es un campo emergente del conocimiento que estudia las interacciones entre los sistemas naturales y sociales (economía, ambiente y sociedad) desde una epistemología transdisciplinar (Salas-Zapata *et al.*, 2011). Esta disciplina tiene como objeto de estudio los procesos, acontecimientos o eventos asociados a los sistemas socioecológicos. Sin embargo, la mayoría de los estudios en materia de sustentabilidad se centran en interacciones socioecológicas recientes reportadas de manera descriptiva, es decir, se enfocan en estudiar únicamente la situación actual de los socioecosistemas (Alban, Arguello y Molina, 2020; Pinedo-Taco *et al.*, 2021). Esto limita el conocimiento del proceso evolutivo de los sistemas socioecológicos a largo plazo en términos de sustentabilidad económica, ambiental y social al no profundizar en las causas del contexto (Jiménez-Ortega *et al.*, 2022). En particular, los agroecosistemas de cultivos perennes que implican procesos de interacción socioecológica de larga duración han sido abordados de manera descriptiva en estudios sobre la sustentabilidad. Lo anterior se ha realizado mediante la comparación simultánea de un sistema de producción convencional con uno alterno (sistema orgánico o agroecológico) en la misma escala temporal. No obstante, este enfoque genera estudios estáticos que limitan el conocimiento sobre el proceso evolutivo de la sustentabilidad a largo plazo de los agroecosistemas. Por otro lado, las evaluaciones de sustentabilidad de un mismo sistema a largo plazo, con un enfoque histórico-ambiental, permiten comprender el proceso de desarrollo de los agroecosistemas; es decir, conocer el comportamiento de la sociedad con su entorno y explicar las causas de las transformaciones de los ecosistemas (Galván-Miyoshi, 2008; Ortiz-Ávila, 2008). Sin embargo, este tipo de evaluaciones ha sido poco abordado, probablemente debido a la dificultad de obtener datos históricos (producción, rendimiento, gastos e inversión económica) o de comprender la dinámica de los sistemas productivos (Speelman *et al.*, 2008).

El limón persa es uno de los cultivos tropicales y subtropicales de gran importancia económica y social a nivel mundial y nacional (Franco-Valderrama *et al.*, 2022; Nunes-Mamede *et al.*, 2020; Valarezo-Beltrón, Julca-Otiniano y Rodríguez-Berrio, 2020). Este agroecosistema está presente principalmente en

México, Turquía, la Unión Europea y Argentina (USDA, 2025). En nuestro país, los principales estados productores de limón persa son Veracruz en primer lugar, seguido de Oaxaca, Yucatán, Jalisco y Tabasco (SIACON, 2023; Vargas-Canales *et al.*, 2020). El Distrito de Desarrollo Rural de Martínez de la Torre es la zona productora más importante de la región Norte-Centro del estado de Veracruz (Caamal-Cauich *et al.*, 2014; SIAP, 2022). La producción de limón persa en las comunidades de esta región representa una fuente importante de ingresos. Además, el éxito en la productividad del cultivo de limón está relacionado con los conocimientos aplicados por los productores, quienes reconocen la importancia de los periodos de lluvia, la fertilidad del suelo y la necesidad de adoptar porta-injertos tolerantes a plagas y enfermedades (Franco-Valderrama *et al.*, 2021). De acuerdo con el SIACON (2023), el 99 % de la producción nacional de limón se realiza en agroecosistemas convencionales, es decir, requiere el uso de insumos sintéticos, como herbicidas y plaguicidas, y de energías fósiles. A pesar de la alta productividad de este modelo de producción, generalmente impacta a varios aspectos ambientales y sociales (Martínez-Castillo, 2009).

Además, el sector cítrico enfrenta dificultades climáticas, como cambios drásticos en la temperatura, la precipitación y la humedad, la presencia de fuertes vientos y la alta evapotranspiración, lo que se traduce en una baja productividad de los huertos y, por consiguiente, en el abandono de los cultivos (Rosales-Martínez *et al.*, 2020). En los agroecosistemas convencionales de limón persa, resulta fundamental evaluar y proponer alternativas sustentables. Aunque existen estudios previos sobre la producción de limón persa y la evaluación de la sustentabilidad, estos se centran en comparar un sistema convencional con otro alterno. En este sentido, el enfoque retrospectivo en las evaluaciones de la sustentabilidad permite comprender el desarrollo temporal de los sistemas productivos. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el proceso de desarrollo de la sustentabilidad económica, ambiental y social en el periodo inicial (1994-2009) y en el periodo actual (2010-2024) del agroecosistema de limón persa (*Citrus latifolia*) mediante atributos e indicadores de sustentabilidad en la localidad de Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

Esta investigación se realizó en la comunidad de Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, que cuenta con aproximadamente 778 habitantes (INEGI, 2020). La comunidad se encuentra a 120 msnm y sus coordenadas geográficas son 20°11'18.036" LN y 97°15'48.835" LW (INEGI, 2020). El tipo de vegetación corresponde a la selva alta perennifolia (INEGI y CONABIO, 2021). El clima es cálido húmedo, con rangos de temperatura de 24 a 26 °C y lluvias abundantes en verano, con precipitación media anual de 1500 a 2000 mm (Vidal-Zepeda y CONABIO, 2008a; Vidal-Zepeda y CONABIO, 2008b). El tipo de suelo dominante en la comunidad es el regosol éutrico y el phaeozem háplico, con lomeríos predominantes aptos para la agricultura (INEGI, 2013; INIFAP y CONABIO, 2008). En cuanto al uso del suelo, este se destina para agricultura de temporal anual, permanente y pastizal cultivado (INEGI y CONABIO, 2021).

### Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema de limón persa

Para la evaluación de la sustentabilidad, se aplicó la metodología del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Con esta metodología se evalúa a lo largo del tiempo, la evolución de un sistema agrícola mediante un enfoque histórico-ambiental. La estructura de este marco evalúa la sustentabilidad económica, ambiental y social mediante los siguientes atributos: 1) productividad; 2) estabilidad, confiabilidad y resiliencia; 3) adaptabilidad; 4) equidad; y 5) autodependencia. De igual forma, conlleva un proceso de evaluación cíclica de seis pasos generales (Masera *et al.*, 2000).

El primer paso del MESMIS consistió en determinar y caracterizar el objeto de evaluación. Se realizó una evaluación longitudinal retrospectiva a nivel comunitario en agroecosistemas con limón persa. Para definir el periodo inicial de evaluación se consideró a los productores que hayan establecido su huerta de limón entre 1994 y 2009. Asimismo, para el periodo actual se consideró a productores que establecieron su cultivo entre 2010 y 2024. Por otra parte, para la caracterización del sistema de manejo, se aplicó una entrevista semiestructurada dirigida a los productores de cada periodo evaluado, para conocer el manejo del sistema de limón (preparación del terreno, cuidados o

labores realizadas en el cultivo, densidad de plantación, superficie sembrada, portainjerto, marco de plantación y manejo de plagas y enfermedades), la tipología de productores y datos sociodemográficos (nombre, edad, género, estado civil, ocupación principal, escolaridad y lengua que habla). Además, se revisó la literatura para conocer los aspectos biofísicos del área de estudio.

En el segundo paso se identificaron los puntos críticos del agroecosistema. Se aplicó la entrevista elaborada a los productores de limón de ambos periodos. Al ser una entrevista semiestructurada, se identificaron algunos puntos críticos preliminares; posteriormente, solo se conservaron los identificados por los productores entrevistados. La guía de entrevista se dividió en tres etapas: 1) Tipología de productores; 2) Manejo del sistema; y 3) Fortalezas y debilidades. Se plasmaron en cada atributo general los posibles puntos críticos e indicadores que influyen en la sustentabilidad del agroecosistema de limón persa.

En el tercer paso MESMIS, se seleccionaron los indicadores en relación con los puntos críticos que acoge el sistema de manejo, considerando que fueran indicadores fáciles de medir y que pudieran medirse en ambos periodos (Masera *et al.*, 2008). Mediante una revisión de la literatura, se realizó una lista de posibles indicadores sociales, ambientales y económicos, según el punto crítico seleccionado por los citricultores en la entrevista. Los indicadores estratégicos para medir fueron los utilizados en otras evaluaciones realizadas en el agroecosistema de limón persa.

El cuarto paso consistió en medir los indicadores seleccionados. En la Tabla 1 se presenta la lista de indicadores, con su definición y la herramienta de medición correspondiente.

La población estudiada fue de 300 productores del limón persa presentes en la comunidad de Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz (López-Gerónimo, comunicación personal, 2024). El tamaño de muestra se obtuvo para un muestreo probabilístico aleatorio simple, mediante la siguiente ecuación (Castañeda-Guerrero *et al.*, 2020):

$$n = \frac{NZ^2_{\alpha/2}pq}{Nd^2 + Z^2_{\alpha/2}pq}$$

Donde: N = Tamaño de la población (300);  $Z^2_{\alpha/2} = 90$  % de confiabilidad (1.645); p = 0.5; q = 0.5; d = precisión (0.1).

**Tabla 1. Indicadores para el análisis de la evaluación de la sustentabilidad de la producción de limón persa en el periodo inicial (1994-2009) y periodo actual (2010-2024) en Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, México.**

Atributos	Indicador	Medición
Productividad	Número (Núm.) promedio de cultivos que le generan ingresos económicos (NCGI) Producción promedio de limón al año (t ha <sup>-1</sup> )  Índice de la relación beneficio/costo	NCGI = total de cultivos que generaban ingresos /Núm. de entrevistados  Promedio de los rendimientos del limón de los años de cada periodo 2003-2023, obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). Información obtenida de artículos científicos, del SIAP y del SIACON, en el periodo 2003-2023. Para comparar el valor del beneficio/costo del periodo inicial con el del periodo actual, el primero se actualizó de acuerdo con el incremento de la inflación a partir del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) del periodo 2009-2023, mediante la fórmula de INEGI (2024): $(t_0, t_1) = (lt_1/lt_0) * \text{valor que se quiere actualizar}$ ; donde: $t_0$ = fecha inicial = diciembre 2009, $t_1$ = fecha final = diciembre 2023, $lt_0$ = valor del INPC en diciembre de 2009 = 71.772, $lt_1$ = valor del INPC en diciembre de 2023 = 132.373.
Confiabilidad, estabilidad y resiliencia	Núm. promedio de especies dentro de la huerta con fines de autoconsumo (NEPA) Núm. promedio de cultivos asociados durante los primeros años de establecimiento de la huerta (NCPA) Menor número promedio de plagas y enfermedades (NPYE) Núm. de hectáreas de bosque	NEPA = Total de especies que se utilizaban para autoconsumo /Núm. de entrevistados.  NCPA = total de cultivos que asociaban durante los primeros años /Núm. de entrevistados  NPYE = total de plagas y enfermedades percibidas por los productores /Núm. de entrevistados Información sobre la clasificación supervisada de imágenes del satélite Landsat v. 7 (2005) y 8 (2023), mediante Google Earth Engine. En cada imagen se estimaron 5 clases de uso y cobertura del suelo: cultivo (cítricos), bosque, pastizal, agua y población.
Adaptabilidad	Núm. promedio de modificaciones o cambios en la huerta de limón (NCHL) Núm. de productores que han realizado modificaciones o cambios en su huerta (NPRC)	NCHL = total de cambios o modificaciones realizadas /Núm. de entrevistados  NPRC = (Núm. de productores que han realizado cambios o modificaciones/Núm. de entrevistados) × 100
Equidad	Núm. de hectáreas cultivadas de cítricos	Información obtenida de la clasificación supervisada realizada en el indicador Núm. de hectáreas de bosque
Auto-dependencia	Núm. de personas que pertenecen a una organización (NPPO)	NPPO = (Núm. de personas que pertenecen a una organización/Núm. de entrevistados) × 100

De acuerdo con la ecuación para el tamaño de la muestra, el número de productores entrevistados fue de 55, de los cuales 24 corresponden al periodo inicial y 31 al periodo actual. El resultado de la distribución de la muestra del periodo inicial estuvo condicionado por el número de citricultores que iniciaron a cultivar limón persa entre 1994 y 2009. El resto de los productores a entrevistar correspondería a citricultores del periodo inicial (2010-2024).

### Análisis de datos

Se presentaron e integraron los resultados del quinto paso del MESMIS (Masera *et al.*, 2000), con algunas modificaciones para este trabajo, debido a que se empleó estadística descriptiva e inferencial. Los resultados obtenidos mediante el monitoreo de indicadores de los dos periodos de evaluación de la producción de limón persa se integraron en una gráfica radial. Se analizaron los datos de los indicadores

medidos mediante estadística descriptiva y se integraron los resultados en una tabla con sus valores originales. Posteriormente, se determinó el valor óptimo al identificar los valores aceptables de cada indicador en la evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas con limón persa. El valor óptimo de cada indicador se definió tomando como referencia el resultado más alto de los periodos evaluados. Para continuar, se estandarizaron los resultados de los indicadores de sustentabilidad mediante la transformación de los datos originales en porcentaje. Galván-Miyoshi (2008) propone la estandarización de los resultados mediante un valor óptimo para la transformación de los resultados reales de cada indicador medido. De este modo, todos los indicadores estuvieron en la misma unidad de medida, donde, a mayor porcentaje obtenido, mayor la cercanía al valor óptimo (Sarandón y Flores, 2009). Para ello se utilizó la fórmula de Galván-Miyoshi (2008):

$$d = \left( \frac{V}{V_o} \right) 100$$

Donde  $d$  = nivel de desempeño del indicador;  $V$  = valor original del indicador en cada periodo evaluado;  $V_o$  = valor óptimo del indicador de sustentabilidad.

Para determinar si hubo diferencias significativas entre los indicadores de sustentabilidad evaluados en los dos periodos de producción de limón persa, primero se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (SPSS Statistics 25), en la que los datos de las variables no cumplieron con el supuesto de normalidad, al encontrarse valores de  $p < 0.05$ . Por ello, se utilizó la

prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney ( $p = 0.05$ ; SAS® OnDemand for Academics), y la función de Wilcoxon. Esta prueba se realizó únicamente en los siguientes indicadores, según el tipo de dato: número promedio de cultivos que generan ingresos, número promedio de cultivos asociados durante los primeros años, producción promedio de limón al año, número promedio de plagas y enfermedades, número promedio de especies cultivadas con fines de autoconsumo; y número promedio de cambios o modificaciones en la huerta de limón.

Posteriormente, para determinar los indicadores que disminuyeron o aumentaron significativamente, se realizaron pruebas unilaterales a la derecha e izquierda ( $p = 0.05$ ). La prueba unilateral derecha se aplicó a los indicadores de producción promedio de limón al año y número promedio de plagas y enfermedades, para verificar si el resultado del periodo actual aumentó significativamente respecto al periodo inicial. La prueba unilateral izquierda se aplicó en los indicadores, número promedio de cultivos que le generan ingresos y número promedio de cultivos asociados durante los primeros años para verificar si el resultado del periodo inicial disminuyó significativamente respecto al periodo actual.

## RESULTADOS

### Caracterización del sistema de manejo

En la Tabla 2 se muestra la caracterización del sistema productivo de limón persa del periodo inicial (1994-2009) y periodo actual (2010-2024).

**Tabla 2. Caracterización del agroecosistema de limón persa del periodo inicial (1994-2009) y periodo actual (2010-2024) de producción en Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, México.**

	Periodo inicial (1994-2009):	Periodo actual (2010-2024):
<b>Manejo</b>	Características de los productores	En promedio, los productores llevan 21 años produciendo limón persa, en 3.2 ha cultivadas; 95.8 % lo cultiva en tierras propias y 4.2 % en renta
	Variedades y especies manejadas	Limón persa asociado con maíz, calabaza, pipián y frijol. Además, se dedican a la ganadería, y al cultivo de naranja y mandarina
	Manejo de plagas y enfermedades	Uso de agroquímicos y compuestos orgánicos en ambos periodos evaluados
	Características principales del cultivo de limón persa	Portainjertos utilizados: volkameriano (16.7 %), cucho (naranja agrio, 3.2 %) y, en su mayoría, combinado (volkameriano, cucho y Swingle) (37.5 %). Marcos de plantación: El 62.5 % de los productores utiliza el marco cuadrado, mayormente a una distancia de siembra de 6 m × 6 m, con aproximadamente 327
		En promedio, los productores llevan 12 años produciendo limón persa, en 2.6 ha cultivadas; todo el grupo entrevistado cultiva en tierras propias
		Limón persa, asociado a menos cultivos agrícolas y a un manejo más tecnificado. Sin embargo, se puede encontrar naranja asociada con mandarina
		Volkameriano (16.1 %), cucho (3.2%) y la mayoría combinado (volkameriano, cucho y Swingle) (80.6 %). Marcos de plantación: El 67.7 % de los productores utiliza el marco cuadrado, mayormente a una distancia de siembra de 5 m × 5 m, con aproximadamente 356

Aspectos socioeconómicos y culturales	plantas ha <sup>-1</sup> . También usan el rectangular y triangular.	plantas ha <sup>-1</sup> . También usan el rectangular y triangular.
	Ingresos diversificados por la variedad de cultivos asociados. Uso de fungicidas, insecticidas y herbicidas. Poca asesoría técnica	Menos cultivos asociados. Uso de fungicidas, insecticidas y herbicidas. Poca asesoría técnica

### Determinación de los puntos críticos e indicadores de sustentabilidad del agroecosistema de limón persa

Se determinaron ocho puntos críticos; para cada uno se definieron hasta dos indicadores de sustentabilidad. De este modo se midió la sustentabilidad en sus tres dimensiones: económica, ambiental y social. Para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas con limón persa en la zona de estudio, tanto en el periodo inicial (1994-2009) como en el actual (2010-2024), se seleccionaron 11 indicadores en total: tres para la dimensión económica, tres para la dimensión ambiental y cinco para la dimensión social (Tabla 3).

### Indicadores de sustentabilidad

El número promedio de cultivos asociados al limón persa que generan ingresos durante el periodo inicial fue de 3.1; entre ellos se encontraban la mandarina (*Citrus reticulata*), el maíz (*Zea mays*), el frijol de árbol (*Cajanus cajan*), la calabaza pipián (*Cucurbita argyrosperma*), la calabaza (*Cucurbita moschata*), el tomate de cáscara (*Physalis philadelphica*), la naranja (*Citrus sinensis*) y la actividad ganadera. Por otra parte, en el periodo actual, tuvo en promedio dos cultivos, entre los que destacan el limón persa, el maíz, la calabaza pipián, la mandarina (*Citrus reticulata*) y la naranja.

En el periodo inicial, el indicador de producción promedio de limón por hectárea al año resultó menor que el rendimiento por hectárea del periodo actual. Es decir, hubo un aumento aproximado de 2.57 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 3. Puntos críticos e indicadores para la evaluación de la sustentabilidad del periodo inicial (1994-2009) y periodo actual (2010-2024) de la producción de limón persa en Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, México.**

Atributos	Puntos críticos	Indicadores	Dimensión
<b>Productividad</b>	Ganancias	Número promedio de cultivos que le generan ingresos económicos	E
	Incremento de la producción	Producción promedio de limón al año (t ha <sup>-1</sup> ) Índice de la relación Beneficio/Costo	E E
<b>Confiabilidad, estabilidad y resiliencia</b>	Tendencia al monocultivo	Número promedio de especies dentro de la huerta con fines de autoconsumo	S
	Aumento de plagas y enfermedades	Número promedio de cultivos asociados durante los primeros años de establecimiento de la huerta	A
	Disminución de la superficie boscosa	Menor número promedio de plagas y enfermedades	A
	Facilidad para el establecimiento de nuevas prácticas de producción	Número de hectáreas de bosque	A
<b>Adaptabilidad (Flexibilidad)</b>	Facilidad para el establecimiento de nuevas prácticas de producción	Número promedio de modificaciones o cambios en la huerta de limón	S
<b>Equidad Autodependencia (autogestión)</b>	Accesibilidad del sistema	Número de productores que han realizado modificaciones o cambios en su huerta	S
	Organización de productores de limón	Número de hectáreas cultivadas de cítricos	S
		Número de productores que pertenecen a un grupo u organización	S

A = Dimensión ambiental; E = Dimensión económica; S = Dimensión social.

En la Tabla 4 se presentan las variables para calcular la relación beneficio/costo de la producción, tanto en el periodo inicial como en el actual. El precio por tonelada incrementó 62 %, lo cual se refleja en el aumento del ingreso bruto en un 97 %. Por lo tanto, al restar los costos totales de producción de limón se percibe un ingreso neto favorable tras aumentar al paso del tiempo y obtener un incremento en la relación beneficio/costo del 10 %, es decir, en el periodo inicial los productores obtenían \$1.49, lo que en la actualidad tienen un valor de \$2.75 y en el periodo actual fue de \$3.03. Este indicador muestra que la producción de limón persa ha sido rentable a lo largo del tiempo y

refleja la competencia de los productores locales de la comunidad de Insurgentes, Socialistas, Papantla, Veracruz.

De acuerdo con los resultados del indicador número promedio de especies dentro de la huerta con fines de autoconsumo, durante el periodo inicial se utilizaban más especies para autoconsumo, con un promedio de 4.9 especies; mientras que en el periodo actual fue de 4. En la Tabla 5 se observan las especies utilizadas para autoconsumo reportadas en agroecosistemas con limón persa en el periodo inicial (1994-2009) y el periodo actual (2010-2024).

**Tabla 4. Costos de producción, ingresos y relación beneficio/costo del limón persa en el periodo inicial (1994-2009) y el periodo actual (2010-2024) en Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, México.**

	Periodo inicial	Monto con inflación*	Periodo actual
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	11.81	-	14.38
Precio t <sup>-1</sup>	\$1,524.29	\$2,811.32	\$4,552.49
Ingreso (bruto)	\$17,997.46	\$33,193.69	\$65,464.79
Costos totales	\$12,058.30	\$22,239.77	\$21,603.38
Rentabilidad (ingreso neto)	\$5,939.16	\$10,953.92	\$43,861.41
Beneficio/costo	\$1.49	\$2.75	\$3.03

\*Los valores de esta columna se multiplicaron por 1.84 (incremento de la inflación entre los dos periodos evaluados).

**Tabla 5. Especies utilizadas para autoconsumo del periodo inicial (1994-2009) y periodo actual (2010-2024) en el agroecosistema de limón persa de Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, México.**

Periodo inicial (1994-2009)	Periodo actual (2010-2024)
Cedro ( <i>Cedrela odorata</i> ), tarro ( <i>Guadua angustifolia</i> ), zapote cabello ( <i>Licania platypus</i> ), sauce ( <i>Salix</i> sp.), chalahuite ( <i>Inga spuria</i> ), chaca ( <i>Bursera simaruba</i> ), encino ( <i>Quercus oleoides</i> ), calabaza ( <i>Cucurbita moschata</i> ), maíz ( <i>Zea mays</i> ), frijol de árbol ( <i>Cajanus cajan</i> ), pipián ( <i>Cucurbita argyrosperma</i> ), cocuitle ( <i>Gliricidia</i> sp.), guácima ( <i>Guazuma ulmifolia</i> ), coyol redondo ( <i>Acrocomia aculeata</i> ), tomate de cáscara ( <i>Physalis philadelphica</i> ), coco ( <i>Cocos nucifera</i> ), ombligo de puerco ( <i>Cotyledon orbiculata</i> ), tepejilote ( <i>Chamaedorea tepejilote</i> ), jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ), chitalillo ( <i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i> ), chile verde ( <i>Capsicum annuum</i> ), plátano ( <i>Musa balbisiana</i> ), chiltepín ( <i>Capsicum annuum</i> ), yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ), aguacate ( <i>Persea americana</i> ), mango ( <i>Mangifera indica</i> ), chote ( <i>Parmentiera aculeata</i> ), guayaba ( <i>Psidium guajava</i> ), yaca ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> ), lichi ( <i>Litchi chinensis</i> ) y canela ( <i>Cinnamomum verum</i> ).	Cedro ( <i>Cedrela odorata</i> ), chalahuite ( <i>Inga spuria</i> ), chaca ( <i>Bursera simaruba</i> ), encino ( <i>Quercus oleoides</i> ), calabaza ( <i>Cucurbita moschata</i> ), maíz ( <i>Zea mays</i> ), frijol de árbol ( <i>Cajanus cajan</i> ), pipián ( <i>Cucurbita argyrosperma</i> ), cocuitle ( <i>Gliricidia</i> sp.), guácima ( <i>Guazuma ulmifolia</i> ), coyol redondo ( <i>Acrocomia aculeata</i> ), coco ( <i>Cocos nucifera</i> ), jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ), plátano ( <i>Musa balbisiana</i> ), aguacate ( <i>Persea americana</i> ), mango ( <i>Mangifera indica</i> ), chote ( <i>Parmentiera aculeata</i> ), guayaba ( <i>Psidium guajava</i> ), yaca ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> ), lichi ( <i>Litchi chinensis</i> ), canela ( <i>Cinnamomum verum</i> ), bambú ( <i>Bambusa oldhamii</i> ), ceiba ( <i>Ceiba pentandra</i> ), palo volador ( <i>Zuelania guidonia</i> ), chicozapote ( <i>Manilkara zapota</i> ), quebracho ( <i>Diphysa americana</i> ), majo ( <i>Oenocarpus bataua</i> ), guanábana ( <i>Annona muricata</i> ), cereza ( <i>Prunus avium</i> ), hormigo ( <i>Cecropia obtusifolia</i> ), laurel ( <i>Licaria</i> sp.), ciruela ( <i>Spondias purpurea</i> ), piña ( <i>Ananas comosus</i> ), calabacitas ( <i>Cucurbita pepo</i> ), palma ( <i>Attalea butyracea</i> ), nanci ( <i>Byrsonima crassifolia</i> ), ojite ( <i>Brosimum alicastrum</i> ), zapote reventador ( <i>Pachira aquatica</i> ), chinina ( <i>Cinchona officinalis</i> ), higuera ( <i>Ficus</i> sp.) y caña ( <i>Saccharum officinarum</i> ).

En el indicador número promedio de cultivos asociados durante los primeros años de establecimiento de la huerta, el grupo de productores entrevistados del periodo inicial intercalaban más especies en el cultivo de limón persa, en comparación con los productores del periodo inicial. Los productores del periodo inicial integraban especies como calabaza, maíz, frijol de árbol, quelites, jitomate, pipián, chitalillo, tomate de cáscara, chiltepín, plátano, yuca y chile verde. Durante el periodo actual se han intercalado especies como frijol de árbol, jitomate, calabaza, pipián, maíz, chitalillo, aunque el 55 % de los productores prefiere no intercalar con otras especies.

En el indicador número promedio de plagas y enfermedades, en el periodo inicial fue de 6.2 y para el periodo actual fue de 7.6. Los productores de cada periodo mencionaron la presencia de 17 plagas y enfermedades. En cada periodo se registraron plagas y enfermedades diferentes, sin embargo, en el periodo actual aún se percibieron algunas plagas y enfermedades mencionadas en el periodo inicial. En la Tabla 6 se presentan las plagas y enfermedades detectadas para los dos periodos evaluados en el agroecosistema de limón persa.

En el indicador del número de hectáreas de bosque, los resultados de la clasificación de imágenes satelitales muestran que la superficie de bosque disminuyó en alrededor de 15.7 ha. Esta disminución indica que no se han producido daños significativos en la superficie

arbórea. En la Figura 1 se observa que la categoría dominante en el año 2005 fue la de pastizales, seguida de las de bosque, cultivo, agua y población. En contraste, en la clasificación supervisada de la imagen del año 2023 se observa un aumento de la superficie de cultivos, lo que corresponde al indicador del número de hectáreas cultivadas de cítricos. EL incremento en la superficie dedicada a los cítricos fue de aproximadamente 565.1 ha. Aunque la superficie de pastizales presentó la mayor disminución, se utilizó para establecer los cítricos.

Durante el periodo inicial, el número promedio de modificaciones o cambios en la huerta de limón fue de 2.8, mientras que para el periodo actual fue de 2.4. Estos resultados muestran un equilibrio en la disposición de los citricultores a realizar cambios en sus cultivos. La Tabla 7 presenta las modificaciones o cambios para mejorar la producción de limón.

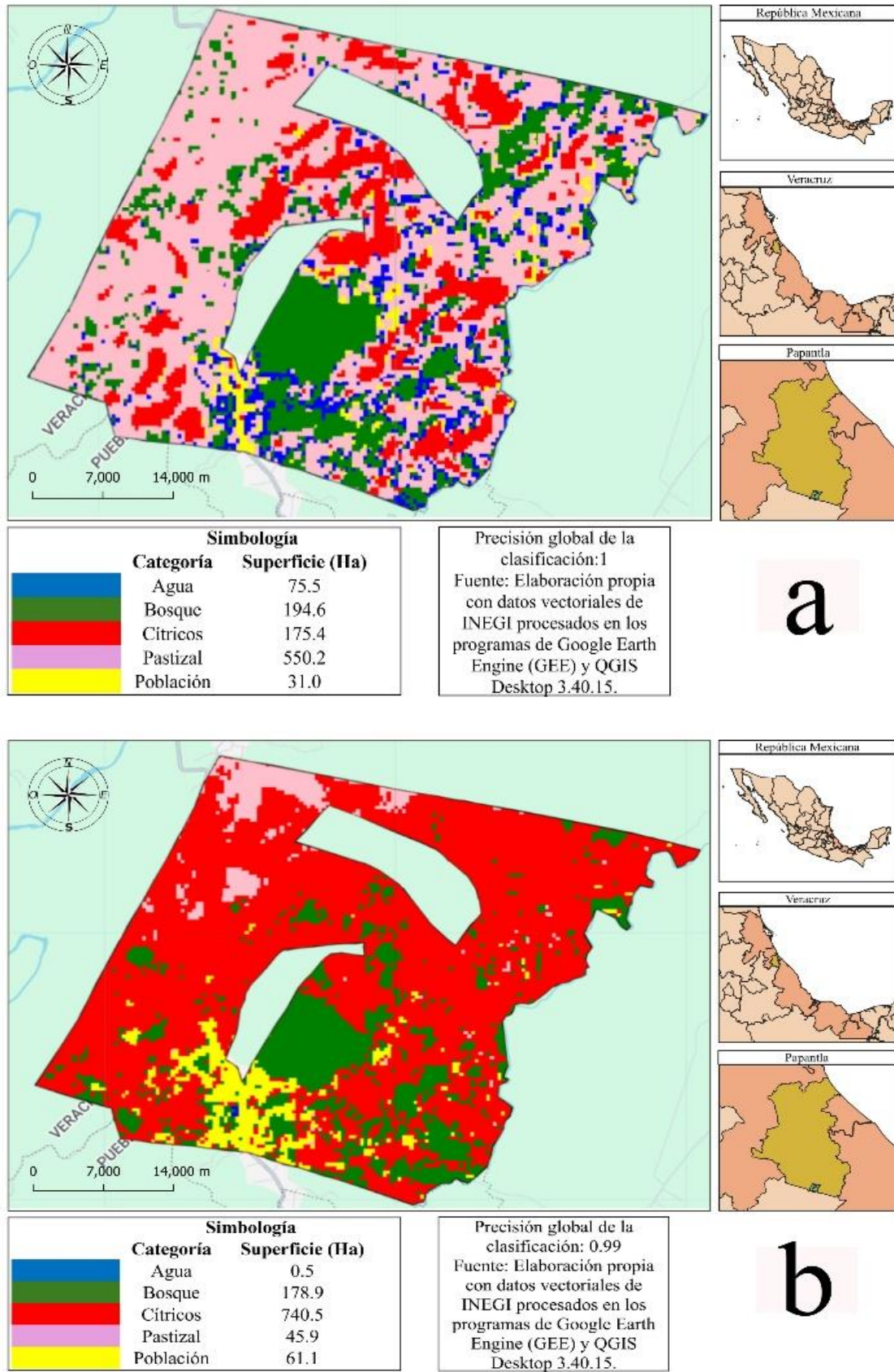
Todos los productores de cada periodo evaluado realizaron modificaciones o cambios en sus huertas; es decir, ninguno de los entrevistados tiene dificultades para modificar o cambiar procesos en sus huertos de limón persa.

En el periodo inicial, el 56.5 % de los productores entrevistados pertenecían a una organización; sin embargo, en el periodo actual solamente el 29 % pertenece a un grupo u organización.

**Tabla 6. Plagas y enfermedades del periodo inicial (1994-2009) y periodo actual (2010-2024) en el agroecosistema de limón persa de Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, México.**

Plagas	Enfermedades
Ácaro ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> ) <sup>PI, PA</sup>	Gomosis ( <i>Phytophthora parasitica</i> ) <sup>PI, PA</sup>
Tuzas ( <i>Thomomys umbrinus</i> ) <sup>PI, PA</sup>	Roña ( <i>Elsinoe fawcettii</i> ) <sup>PI, PA</sup>
Arrieras ( <i>Atta</i> spp.) <sup>PI, PA</sup>	Mancha grasienta ( <i>Mycosphaerella citri</i> ) <sup>PI</sup>
Diaforina ( <i>Diaphorina citri</i> ) <sup>PI, PA</sup>	Virus de la tristeza de los cítricos (VTC) <sup>PI</sup>
Escamas de nieve ( <i>Unaspis citri</i> ) <sup>PI, PA</sup>	Cancro de los cítricos ( <i>Xanthomonas citri</i> ) <sup>PI</sup>
Escama blanca ( <i>Aspidiotus nerii</i> ) <sup>PI</sup>	Antracnosis ( <i>Colletotrichum acutatum</i> ) <sup>PI, PA</sup>
Hormigas ( <i>Myrmelachista schumanni</i> ) <sup>PI, PA</sup>	Huanglongbing ( <i>Candidatus Liberibacter asiaticus</i> ) <sup>PI, PA</sup>
Pulgón ( <i>Toxoptera</i> spp.) <sup>PI, PA</sup>	Manchado sectorial del fruto (Wood pocket) <sup>PA</sup>
Minador de la hoja ( <i>Phyllocnistis citrella</i> ) <sup>PI, PA</sup>	Fumagina ( <i>Capnodium citri</i> ) <sup>PA</sup>
Araña roja ( <i>Tetranychus urticae</i> ) <sup>PI, PA</sup>	
Caracol ( <i>Catantopus aspersus</i> ) <sup>PA</sup>	
Trips ( <i>Frankiniella rodeos</i> ) <sup>PA</sup>	

PI = Plaga o enfermedad detectada en el periodo inicial (1994-2009), PA = Plaga o enfermedad detectada en el periodo actual (2010-2024).



**Figura 1.** Imágenes satelitales de la clasificación supervisada en la comunidad de Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, México. **a)** Imagen del año 2005; y **b)** Imagen del año 2023.

**Tabla 7. Modificaciones o cambios realizados por los productores para mejorar la producción de limón persa en el periodo inicial (1994-2009) y periodo actual (2010-2024) en Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz, México.**

Cambio o modificación	Cambio o modificación
Uso de maquinaria <sup>PI, PA</sup>	Aplicación de cal <sup>PA</sup>
Uso de productos orgánicos <sup>PI, PA</sup>	Cambiar de proveedor de plantas <sup>PA</sup>
Asesoría técnica <sup>PI, PA</sup>	Franjas de maleza <sup>PA</sup>
Cambio de portainjerto (patrón) <sup>PI, PA</sup>	Dejar de intercalar otro cultivo <sup>PA</sup>
Integrarse a un grupo de citricultores <sup>PI</sup>	Intercalar otro cítrico <sup>PA</sup>
Uso de agroquímicos <sup>PI</sup>	Reducir el uso de agroquímicos <sup>PA</sup>
Plantar árboles frutales <sup>PI, PA</sup>	Comprar las plantas de resiembra <sup>PA</sup>
Establecimiento de un vivero <sup>PI, PA</sup>	Variar el uso de agroquímicos <sup>PA</sup>

**PI** = Cambio o modificación realizada por los productores en el periodo inicial (1994-2009), **PA** = Cambio o modificación realizada por los productores en el periodo actual (2010-2024).

### Presentación e integración de los resultados de los indicadores de sustentabilidad

En la gráfica radial (Figura 2) y el cuadro de resultados generales que la respalda (Tabla 8), el proceso de desarrollo de la sustentabilidad del agroecosistema de limón persa presentó diversos cambios. Durante ambos periodos se benefició la dimensión económica. Aunque en términos socioambientales, no hubo resultados óptimos para la sustentabilidad. La evaluación del agroecosistema de limón revela que, en la dimensión económica, los indicadores de productividad vinculados al rendimiento por hectárea y a la relación beneficio/costo mejoraron a lo largo del tiempo, es decir, se acercaron al valor óptimo de sustentabilidad. Por el contrario, como parte del atributo de productividad, el indicador correspondiente al número promedio de cultivos que generan ingresos se alejó del nivel considerado óptimo. En lo que respecta al eje ambiental, los indicadores de los atributos de confiabilidad, estabilidad y resiliencia, como el número promedio de cultivos asociados durante los primeros años y el número de hectáreas de bosque, evidencian un alejamiento del valor óptimo de sustentabilidad con el paso del tiempo. Respecto al menor número promedio de plagas y enfermedades, del periodo inicial al actual hubo un aumento notable. En cuanto a la dimensión social, el número de productores que han realizado cambios o modificaciones en la huerta, correspondientes al atributo de adaptabilidad, se ha mantenido en el valor deseable de sustentabilidad. También se encontró que el número promedio de modificaciones o cambios realizados en los agroecosistemas con limón persa, a pesar de contar con él, se ha alejado del valor óptimo con el paso del tiempo. En relación con la equidad, el indicador del número de hectáreas cultivadas de cítricos ha mostrado un comportamiento positivo, con niveles más cercanos al óptimo con el paso de los años. El indicador vinculado al atributo de autodependencia señala una disminución de la capacidad de organización de los productores, lo que la aleja de los

niveles deseables de sustentabilidad. Finalmente, respecto al atributo de resiliencia, el número promedio de especies cultivadas para autoconsumo se alejó del valor considerado como sustentable.

Con los resultados de las pruebas estadísticas inferenciales se determinó que tanto el número promedio de cultivos asociados al inicio del establecimiento de la huerta de limón, como el número promedio de cultivos que le generan ingresos disminuyeron significativamente. Por otro lado, se observó un aumento significativo en la producción promedio de limón al año y en el número promedio de plagas y enfermedades. Es importante mencionar que no hubo diferencias significativas entre los indicadores relacionados con el número promedio de especies cultivadas con fines de autoconsumo y el número promedio de cambios o modificaciones en la huerta de limón (Tabla 9).

### DISCUSIÓN

La producción de limón persa en la zona de estudio ha experimentado cambios importantes en materia de sustentabilidad económica, ambiental y social. Esta serie de cambios en la sustentabilidad a lo largo del tiempo puede estar relacionada con las prácticas en el sistema productivo de limón, ya que los productores del periodo inicial se caracterizan por haber sido los primeros en cultivar limón y aplicar saberes tradicionales; en cambio, los productores del periodo actual son más recientes. Según Cuevas-Coeto, Vera-Castillo y Cuevas-Sánchez (2019), esto se debe a que los saberes, conocimientos y prácticas tradicionales desarrollados en las comunidades no han sido protegidos de manera eficaz. A lo largo del periodo evaluado, la sustentabilidad económica general del agroecosistema mejoró en el atributo de productividad (producción promedio anual de limón y relación beneficio-costo). Sin embargo, esta mejora económica ha ocurrido a costa de ciertas afectaciones a la sustentabilidad social y, en especial, a los aspectos

ambientales. Estos resultados coinciden con lo que mencionan Franco-Valderrama *et al.* (2022), quienes reportan que la sustentabilidad económica es el área que mejor se fortalece en el agroecosistema convencional de limón, dejando de lado la conservación ambiental y la desigualdad social, en particular en la diversificación de los roles campesinos, donde las mujeres tienen baja participación en dicha labor. Sin embargo, los resultados muestran que la

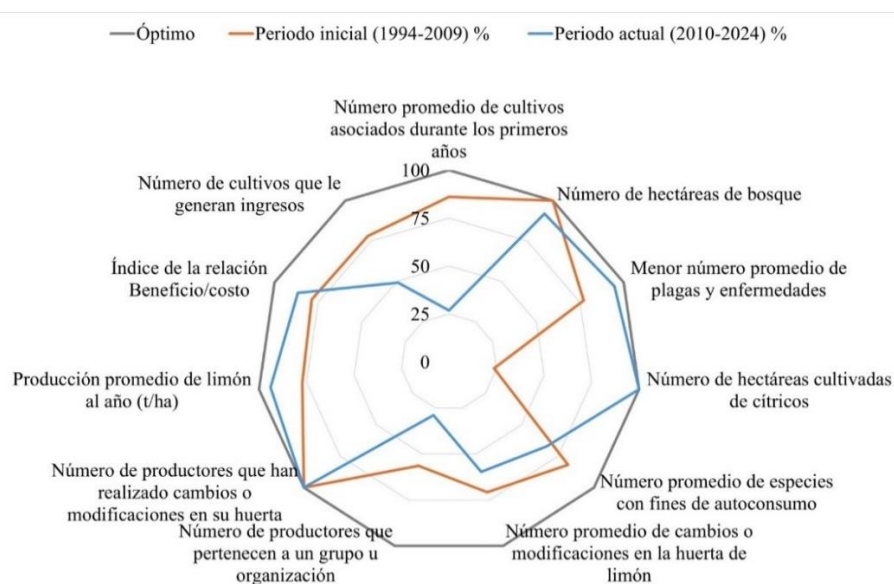
sustentabilidad económica también puede verse comprometida por la disminución significativa del número de cultivos que complementan los ingresos. Román-Montes de Oca *et al.* (2020) señalan que depender económicamente de un solo cultivo implica enfrentarse a la inestabilidad de los precios de comercialización y a insumos costosos que afectan la economía de los productores.

**Tabla 8.** Resultados de los indicadores de sustentabilidad del periodo inicial (1994-2009) y el periodo actual (2010-2024) del agroecosistema de limón persa en Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz.

Indicador	Óptimo		Periodo inicial		Periodo actual	
		(%)		(%)		(%)
Producción promedio de limón al año (t ha <sup>-1</sup> ) <sup>E</sup>	15.3	100	11.8	77.2	14.4	94
Índice de la relación Beneficio/Costo <sup>E</sup>	3.5	100	2.7	78.6	3.0	86.6
Número promedio de cultivos que le generan ingresos <sup>E</sup>	4.0	100	3.1	78.1	2.0	49.2
Número promedio de especies cultivadas con fines de autoconsumo <sup>S</sup>	6.0	100	4.9	81.9	4.0	67.2
Número promedio de cultivos asociados durante los primeros años <sup>A</sup>	3.0	100	2.6	86.1	0.8	26.9
Número de hectáreas de bosque (ha) <sup>A</sup>	194.6	100	194.6	100	178.9	92
Menor número promedio de plagas y enfermedades <sup>*A</sup>	8.0	100	6.2	77.1	7.6	94.8
Número promedio de cambios o modificaciones en la huerta de limón <sup>S</sup>	4.0	100	2.8	70.8	2.4	59.7
Productores que han realizado cambios o modificaciones en su huerta (%) <sup>S</sup>	100.0	100	100.0	100.0	100.0	100.0
Número de hectáreas cultivadas de cítricos (ha) <sup>S</sup>	740.5	100	175.4	23.7	740.5	100.0
Productores que pertenecen a un grupo u organización (%) <sup>S</sup>	100.0	100	56.5	56.5	29.0	29.0

**E** = Dimensión económica, **S** = Dimensión social, **A** = Dimensión ambiental.

\*Indicadores sin unidad de medida.



**Figura 2.** Gráfica radial de la comparación de la sustentabilidad del periodo inicial (1994-2009) y periodo actual (2010-2023) de la producción de limón persa en Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz.

**Tabla 9. Valores medios  $\pm$  error estándar de los indicadores de sustentabilidad del periodo inicial (1994-2009) y el periodo actual (2010-2024) del agroecosistema de limón persa en Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz.**

Indicador	Periodo inicial	Periodo actual	P-valor unilateral	Valor de <i>n</i>	
	Valor de la media $\pm$ error estándar			Periodo inicial	Periodo actual
Producción promedio de limón al año (t ha <sup>-1</sup> ) <sup>E</sup>	11.81 $\pm$ 0.75	14.38 $\pm$ 0.28	0.0012*	7	14
Número promedio de cultivos que le generan ingresos <sup>E</sup>	3.13 $\pm$ 0.30	1.97 $\pm$ 0.12	0.0002*	24	31
Número promedio de especies cultivadas con fines de autoconsumo <sup>S</sup>	4.92 $\pm$ 0.67	4.03 $\pm$ 0.47	0.1710	24	31
Número promedio de cultivos asociados durante los primeros años <sup>A</sup>	2.58 $\pm$ 0.50	0.81 $\pm$ 0.20	0.0009*	24	31
Menor número promedio de plagas y enfermedades <sup>A</sup>	6.17 $\pm$ 0.31	7.58 $\pm$ 0.28	0.0013*	24	31
Número promedio de cambios o modificaciones en la huerta de limón <sup>S</sup>	2.83 $\pm$ 0.23	2.39 $\pm$ 0.15	0.0884	24	31

Valor P estimado mediante la prueba U de Mann-Whitney ( $\alpha = 0.05$ ). \* Con diferencia significativa, NA = No aplica. E = Dimensión económica, S = Dimensión social, A = Dimensión ambiental. Fuente: elaboración propia con datos propios y de SIAP (2023) y SIACON (2023).

Por otra parte, la sustentabilidad ambiental de los agroecosistemas con limón persa ha cambiado debido a la disminución del número promedio de cultivos asociados y al aumento significativo del número promedio de plagas y enfermedades. Esta situación se observa comúnmente en los monocultivos, ya que la baja diversidad biológica genera un entorno uniforme que favorece la propagación acelerada de plagas y enfermedades (González *et al.*, 2014; Jiménez-Martínez *et al.*, 2018). Asimismo, el incremento notorio del número de hectáreas cultivadas de cítricos, en sustitución de otros cultivos, principalmente de autoconsumo como el maíz y el papián, crea paisajes homogéneos. Esta homogeneización del paisaje puede comprometer la resiliencia del agroecosistema frente a disturbios ecológicos, tal como señalan Altieri y Nicholls (2013) y Molina-Murillo *et al.* (2017). A pesar de estas afectaciones ambientales, los productores del periodo actual han adoptado algunas prácticas agroecológicas para reducir el impacto ambiental, tales como la conservación de franjas de maleza, el uso de productos orgánicos y la aplicación de cal para el control de plagas y enfermedades. A pesar de los cambios en la producción agrícola derivados de la revolución verde, los agroecosistemas han logrado mantenerse mediante algunas prácticas del modelo agroecológico (Albarracín-Zaidiza, Fonseca-Carreño y López-Vargas, 2019).

Por otra parte, en el ámbito social, el aumento notable del número de hectáreas cultivadas de limón persa indica que este ha sido un agroecosistema accesible y equitativo para los productores locales, con una distribución justa de los recursos y oportunidades (FAO, 2009). Además, los productores han mantenido

la disponibilidad de realizar cambios técnicos, productivos y organizativos como la adopción de prácticas agroecológicas, uso de portainjertos resistentes, integración a un grupo de citricultores y solicitar asesoría técnica, lo cual muestra que puede ser un sistema adaptable y resiliente al no provocar una disminución significativa en el número promedio de cambios o modificaciones realizadas y en el número promedio de especies para autoconsumo. Esto concuerda con Franco-Valderrama *et al.* (2022), quienes consideran que en el agroecosistema limonero se pueden realizar cambios que contribuyan a su sostenibilidad a largo plazo. La organización de citricultores de la comunidad de Insurgentes Socialistas comenzó con la conformación de una empacadora de cítricos que, con el paso del tiempo, no tuvo función; sin embargo, se ha querido retomar, sin éxito.

Esta organización se reúne para abordar problemas relacionados con la producción de limón y analizar posibles soluciones. Sin embargo, hubo una pérdida notoria en la organización en cuanto al trabajo grupal o colectivo, lo que puede provocar que cada productor continúe trabajando de forma individual o aislada. Esta situación hace que el enfoque permanezca centrado en el desarrollo económico, lo que puede causar daños socioambientales (Vega-Zárate, 2023).

Los indicadores alejados del óptimo podrían conllevar un aumento en la vulnerabilidad de los agroecosistemas limoneros por las afectaciones ocasionadas por el cambio climático, las dificultades de comercialización del producto, el riesgo para la seguridad alimentaria y, particularmente, los riesgos

para el bienestar de las familias productoras de limón persa. Esta situación ha ocurrido en otros sistemas, donde los indicadores de sustentabilidad con resultados negativos proyectan daños generales en los agroecosistemas (Kutschbach, 2020). Sin embargo, los resultados de los indicadores de sustentabilidad cercanos al óptimo podrían sostener a los agroecosistemas con limón persa, a la par que se fortalecen mediante la toma de decisiones organizada en beneficio del agroecosistema principal de la comunidad de Insurgentes Socialistas. Cuevas-Coeto, Vera-Castillo y Cuevas-Sánchez (2019) señalan que la organización de los agroecosistemas aumenta la resiliencia para afrontar situaciones ambientales extremas.

En este sentido, se sugiere aumentar la diversidad biológica de las huertas mediante la incorporación de cultivos de importancia económica y agroecológica, a fin de incrementar la sustentabilidad económica y ambiental del sistema productivo. Lo anterior para obtener ingresos económicos complementarios e incrementar la resiliencia ante el ataque de plagas y enfermedades. Además, se recomienda la integración de un grupo de citricultores para mejorar la capacidad de autogestión en la dimensión social.

Finalmente, la evaluación de la sustentabilidad económica, ambiental y social, con un enfoque retrospectivo, permite analizar el desarrollo del agroecosistema a lo largo del tiempo. Esta evaluación longitudinal histórica permite proponer alternativas pertinentes para fortalecer la sustentabilidad de los agroecosistemas de limón persa de pequeños productores a escala comunitaria. El diseño de este tipo de investigación permite realizar una evaluación longitudinal de la sustentabilidad de un mismo agroecosistema mediante distintas herramientas y bases de datos, como la percepción remota, los sistemas de información geográfica y las entrevistas retrospectivas. Además, el cuidado en la interpretación de los datos históricos se ejerce con detalle. Sin embargo, no se descartan las limitaciones metodológicas, como el sesgo de memoria de los entrevistados (dificultad para recordar datos del pasado) y el uso de datos municipales, debido a la escasez de datos locales sobre la producción de limón, principalmente por la falta de interés de los productores en llevar una bitácora de producción.

## CONCLUSIONES

El proceso de desarrollo del agroecosistema de limón persa en Insurgentes Socialistas ha experimentado cambios en la sustentabilidad económica, social y ambiental, con mejoras y debilitamientos en los indicadores. En la dimensión económica, hubo un incremento significativo en la producción promedio anual de limón y en la relación beneficio/costo, lo que

evidencia un desarrollo productivo satisfactorio del agroecosistema. En la dimensión social, se incrementó notablemente el número de hectáreas de limón persa, lo que evidencia que el sistema ha sido equitativo a lo largo del tiempo. Sin embargo, en la dimensión económica disminuyó significativamente el número promedio de cultivos que complementaban los ingresos, lo que, junto con la tendencia al monocultivo, puede poner en riesgo el desarrollo económico del agroecosistema. En la sustentabilidad social también disminuyó la capacidad de trabajar de manera colectiva o grupal. De igual manera, en la sustentabilidad ambiental disminuyó significativamente el número promedio de cultivos asociados en las huertas de limón, mientras que aumentó significativamente el número de plagas y enfermedades, lo que incrementa la inestabilidad y la vulnerabilidad de los agroecosistemas con base en limón persa. Finalmente, no hubo cambios significativos en la cantidad de modificaciones realizadas en las huertas ni en el número de especies utilizadas para el autoconsumo, lo que indica la resiliencia del sistema productivo de limón persa.

**Agradecimientos.** A las autoridades locales y a los productores de limón persa de la comunidad de Insurgentes Socialistas de Papantla, Veracruz, por los conocimientos y experiencias compartidas en materia de citricultura.

**Funding.** We would like to thank SECIHTI (National fellowships: 4011764) and PRODEP 2024 (Mexico) for funding.

**Conflict of interest.** The authors have no financial or competing interests to disclose.

**Compliance with ethical standards.** The fieldwork findings presented here were obtained under prior consent from all research participants.

**Data availability.** The data are available from the first author upon reasonable request.

**Author contribution statement (CRediT).** **M. Gómez-Peralta** – Conceptualization, Formal analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Visualization, Writing – original draft. **O. Pérez-García** – Validation, Writing – review & editing. **G. Bautista-Hernández** – Validation, Writing – review & editing. **M. L. Fajardo-Franco** – Validation, Writing – review & editing.

## REFERENCES

Alban, G.P.G., Arguello, A.E.V. and Molina, N.E.C., 2020. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales,

- participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), pp. 163–173. Disponible en: <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>
- Albarracín-Zaidiza, J.A., Fonseca-Carreño, N.E. and López-Vargas, L.H., 2019. Las prácticas agroecológicas como contribución a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Caso provincia del Sumapaz. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), pp. 39-55. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9139>
- Altieri, M.A. and Nicholls, C.I., 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), pp. 7–20. Disponible en: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Caamal-Cauich, I., Jerónimo-Ascencio, F., Pat-Fernández, V.G., Romero-García, E. and Ramos-García, J.G., 2014. Análisis de los canales de exportación del limón persa del municipio de Tlapacoyan, Veracruz. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(1), pp.1–9.
- Castañeda-Guerrero, I., Aliphath-Fernández, M.M., Caso-Barrera, L., Lira-Saade, R. and Martínez-Carrera, D. C., 2020. Conocimiento tradicional y composición de los huertos familiares totonacas de Caxhuacan, Puebla, México. *Polibotánica*, 0(49), pp. 185–217. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.13>
- Cuevas-Coeto, A., Vera-Castillo, Y.B. and Cuevas-Sánchez, J.A., 2019. Resiliencia y sostenibilidad de agroecosistemas tradicionales de México: Totonacapan. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), pp. 165–175. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1789>
- FAO, 2009. Equidad entre géneros en la agricultura y el desarrollo rural. División de Género, Equidad y Empleo Rural, Departamento de Desarrollo Económico y Social, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: <https://www.fao.org/4/i1240s/i1240s00.pdf>
- Franco-Valderrama, A.M., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V.G. and Pérez-Soto, F., 2021. Characterization of Persian lime production (*Citrus × latifolia*; Tanaka ex Q. Jiménez). *Agro Productividad*, 14(11), pp. 43–51. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1991>
- Franco-Valderrama, A.M., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V.G. and Ramírez-Hernández, J.J., 2022. Sustainability of the Persian lime production system in Martínez de la Torre, Veracruz. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 19(2), pp. 213–228. <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.1376>
- Galván-Miyoshi, Y., 2008. Integración de indicadores en la evaluación de sustentabilidad: de los índices agregados a la representación multicriterio. In: Astier, M., Masera, O.R. and Galván-Miyoshi, Y. (eds.). *Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional*, 1st ed. Valencia: SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, MundiPrensa, pp. 95–115.
- González, M.L., Jahnke, S.M., Morais, R.M. and Da Silva, G.S., 2014. Diversidad de insectos depredadores en área orizícola orgánica y de conservación, en Viamão, RS, Brasil. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(1), pp. 120–128. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v40n1/v40n1a20.pdf>
- INEGI and CONABIO, 2021. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000, Serie VII. Conjunto Nacional., escala: 1:250 000. edición: 1. [online] Disponible en: [http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espagnol/normatividad/diccionario/DDUSyV\\_250K.pdf](http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espagnol/normatividad/diccionario/DDUSyV_250K.pdf)
- INEGI, 2013. Carta Edafológica Serie II 1: 250 000 Poza Rica de Hidalgo F14-12. [online] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/> [Accessed 19 December 2024].
- INEGI, 2020. Insurgentes Socialistas, Papantla, Veracruz de Ignacio de la Llave. [online] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=301240131#collapse-Resumen> [Accesado 21 diciembre 2024].
- INEGI, 2024. Calculadora de inflación: Índice Nacional de Precios al Consumidor. [online] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/documentos/Calculadora de Inflacion.pdf> [Accesado 28 julio 2025].

- INIFAP and CONABIO, 2008. Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. [online] Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/eda251mgw.png> [Accesado 28 julio 2025].
- Jiménez-Martínez, E., Chamorro-Aguilar, W. and Romero-Lacayo, D., 2018. Ocurrencia poblacional del ácaro blanco y otros artrópodos plagas en policultivo y monocultivo en Tisma, Nicaragua. *LEISA Revista de Agroecología*, 34(1), pp.18–21.
- Jiménez-Ortega, A.D., Aguilar-Ibarra, A., Galeana-Pizaña, J.M. and Núñez, J.M., 2022. Changes over time matter: a cycle of participatory sustainability assessment of organic coffee in Chiapas, Mexico. *Sustainability*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042012>
- Kutschbach, M.S., 2020. Contribuciones de los agroecosistemas campesinos y sistemas territoriales de agricultura familiar al desarrollo de los territorios rurales y a la seguridad alimentaria: conceptos medulares y cuestiones actuales. *Enfoque Rural*, 1(1), pp. 58–80.
- Martínez-Castillo, R., 2009. Sistemas de producción agrícola sostenible. *Tecnología en Marcha*, 22, pp. 23–39. [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/114](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/114)
- Masera, O., Astier, M. and López-Ridaura, S., 2000. *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El Marco de Evaluación MESMIS*. México: MundiPrensa. Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable.
- Masera, O., Astier, M., Lopez-Ridaura, S., Galván-Miyoshi, Y., Ortiz-Avila, T., García-Barrios, L.E., García-Barrios, R., González, C. and Speelman, E., 2008. El proyecto de evaluación de sustentabilidad MESMIS. In: Astier, M., Masera, O.R., and Galván-Miyoshi, Y. (eds.). *Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional*, 1st ed. Valencia: SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, Mundi-Prensa, pp.13–22.
- Molina-Murillo, S., Barrientos, G., Bonilla, M., Garita, C., Jiménez, A., Madriz, M., Paniagua, J., Rodríguez, J.C., Rodríguez, L., Treviño, J. and Valdés, S., 2017. ¿Son las fincas agroecológicas resilientes? Algunos resultados utilizando la herramienta SHARP-FAO en Costa Rica. *Ingeniería*, 27(2), pp.25–59. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44170539003>
- Nunes-Mamede, A.M.G., de Souza-Coelho, C.C., Freitas-Silva, O., Guimarães-Barboza, H.T. and Gomes-Soares, A. 2020. Lemon. In: Jaiswal, A.K. (eds.). *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*. Academic Press: Cambridge, MA, USA. pp. 377–392.
- Ortiz-Ávila, T., 2008. Caracterización de sistemas de manejo de recursos naturales. In: Astier, M., Masera, O.R. and Galván-Miyoshi, Y. (eds.). *Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional*, 8th ed. Valencia, España: SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, MundiPrensa, Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. pp. 41–57.
- Pinedo-Taco, R., Borjas-Ventura, R., Alvarado-Huamán, L., Castro-Cepero, V. and Julca-Otiniano, A.M. 2021. Sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola: una revisión sistemática de las metodologías empleadas para su evaluación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1), pp. #01. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3292>
- QGIS Development Team, 2024. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Román-Montes de Oca, E., Licea-Resendiz, J.E. and Romero-Torres, F., 2020. Diversificación de ingresos de los productores como estrategia de desarrollo rural. *Entramado*, 16(2), pp. 126–141. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.6752>.
- Rosales-Martínez, V., Francisco-Rubio, A., Casanova-Pérez, L., Fraire-Cordero, S., Flota-Bañuelos, C., and Galicia-Galicia, F. 2020. Percepción de citricultores ante el efecto del cambio climático en Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), pp. 727–740. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1898/3286>
- Salas-Zapata, W., Ríos-Ororio, L. and Álvarez-Del Castillo, J., 2011. La ciencia emergente de la sustentabilidad: de la práctica científica hacia la constitución de una ciencia. *Interciencia*, 36(9), pp.699–706. <https://www.interciencia.net/wp->

- [content/uploads/2018/01/699-e-SALAS-8.pdf](https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new)
- Sarandón, S.J. and Flores, C.C., 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4(1), pp. 19–28. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131>
- SIACON, 2023. *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. [online] Available at: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> [Accessed 21 December 2024].
- SIAP, 2022. Estadística de Producción Agrícola 2022. *Cierre de producción agrícola municipal del cultivo de limón persa*. [online] Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/acciones-y-programas/datos-abiertos-35224> [Accesado 7 Julio 2025].
- SIAP, 2023. Estadística de Producción Agrícola 2023. *Cierre de producción agrícola municipal del cultivo de limón persa*. [online] Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/acciones-y-programas/datos-abiertos-35224> [Accesado 7 July 2025].
- Speelman, E.N., Astier, M. and Galván-Miyoshi, Y., 2008. La experiencia del marco MESMIS. In: Astier, M., Masera, O.R. and Galván-Miyoshi, Y. (eds.) *Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional*, 8th ed. Valencia, España: SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, MundiPrensa, Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. pp. 25–36.
- USDA, 2025. *Citrus: World Markets and Trade*. [online] Disponible en: <https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new>
- Valarezo-Beltrón, C.O., Julca-Otiniano, A., and Rodríguez-Berrió, A., 2020. Evaluación de la sustentabilidad de fincas productoras de limón en Portoviejo, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad*, 7(20), pp. 108–122. <https://doi.org/10.35588/rivar.v7i20.4482>
- Vargas-Canales, J.M., Guido-López, D.L., Rodríguez-Haros, B., Bustamante-Lara, T.I., Camacho-Vera, J.H. and Orozco-Cirilo, S., 2020. Evolución de la especialización y competitividad de la producción de limón en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5), pp. 1043–1056. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2218>
- Vega-Zárate, C., 2023. Configuración de un indicador de competitividad empresarial agrícola orientado a la sustentabilidad. In: R. Ruiz-Rodríguez, ed. *Perspectivas Teóricas y Metodológicas de la Competitividad en las Organizaciones. Una Evolución en el Pensar Administrativo*, 1.ª ed. [online] Astra Editorial. pp. 29–68. <https://doi.org/10.61728/perspectivas>
- Vidal-Zepeda, R. and CONABIO, 2008a. Precipitación media anual' en Precipitación, IV.4.6. *Atlas Nacional de México*. Vol II. Escala 1:4000000. [online] Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/preci4mgw.png>
- Vidal-Zepeda, R. and CONABIO, 2008b. Temperatura media anual'. Extraído de Temperatura media, IV.4.4. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Escala 1:4000000. [online] Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/tempm4mgw.png>