

# ANÁLISIS ECONÓMICO Y VALORACIÓN DE PRINCIPIOS DE AGRICULTURA REGENERATIVA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ: CASOS DEL BAJÍO, DE GUANAJUATO

Flor Selene Escalante-Aguirre<sup>1</sup>, J. Reyes Altamirano-Cárdenas<sup>1\*</sup>, Manrubbio Muñoz-Rodríguez<sup>1</sup>,  
Vinicio Horacio Santoyo-Cortés<sup>1</sup>, María Angélica Buendía-Espinosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo - CIESTAAM, km 38.5 Carretera México - Texcoco. 56230, Chapingo, Estado de México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, 04960, Ciudad de México.

\*Autor de correspondencia: jreyesa@ciestaam.edu.mx

## RESUMEN

Los sistemas de producción convencionales, se asocian con degradación del suelo y pérdida de biodiversidad; en este contexto, la agricultura regenerativa (AR), se plantea como alternativa, aunque persiste cautela por la limitada evidencia empírica sobre su desempeño productivo y económico. El objetivo de este trabajo, fue comparar la rentabilidad del maíz y analizar en qué medida, las prácticas de manejo se corresponden con los principios de la AR. Se empleó un enfoque cuantitativo con tres fuentes de información: (i) revisión documental de costos del sistema convencional, a partir del sistema Agrocostos de FIRA; (ii) análisis de tres unidades, bajo enfoque regenerativo con registros de labores y costos, complementado con tres talleres sobre costos, realizados en diciembre de 2023; y (iii) datos de una parcela de validación con labranza de conservación. Se compararon labores mecánicas, costos directos, rendimientos, utilidades y relación beneficio/costo y se estimó una escala de transición hacia la AR. La unidad con 10 años en AR (UP3), registró el menor costo directo (\$32,712 ha<sup>-1</sup>) y la de cinco años (UP2, \$35,314/ha), ambas por debajo del referente convencional (\$49,807 ha<sup>-1</sup>). Los rendimientos del enfoque regenerativo, oscilaron entre 10.0 y 16.5 t ha<sup>-1</sup>, frente a 12.0 t ha<sup>-1</sup> del sistema convencional y 12.6 t ha<sup>-1</sup> de la parcela con labranza de conservación. Las unidades con AR, realizaron entre 7 y 9 pasos de maquinaria, contra 9 del sistema convencional y la escala de transición, osciló entre 1.70 y 3.43. Los resultados obtenidos, se circunscriben a indicadores económicos y de manejo.

**Palabras clave:** agricultura regenerativa, costos de producción, labranza de conservación, maíz, rentabilidad.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción convencionales, contribuyen a la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la emisión de gases de efecto invernadero (Elrick, *et al.*, 2022; Rehberger *et al.*, 2023). Además, se asocian con una disminución de la productividad (Khangura *et al.*, 2023); en contraste, las tierras agrícolas bien gestionadas, pueden proporcionar servicios ecosistémicos y contribuir positivamente al medio ambiente.

**Citation:** Escalante-Aguirre FS, Altamirano-Cárdenas JR, Muñoz-Rodríguez M, Santoyo-Cortés VH, Buendía-Espinosa MA. 2026. Análisis económico y valoración de principios de agricultura regenerativa en sistemas de producción de maíz: casos del Bajío, de Guanajuato. Agricultura, Sociedad y Desarrollo <https://doi.org/10.22231/asyd.v23i3.1784>

**Editor in Chief:**  
Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: June 11, 2025.  
Approved: September 2, 2025.

**Estimated publication date:**  
June 25, 2026.

This work is licensed  
under a Creative Commons  
Attribution-Non-Commercial  
4.0 International license.



La degradación de los suelos, es un problema grave a nivel mundial y en México en particular, afecta a 49.16% del territorio, principalmente, por la erosión hídrica (46.65%), la eólica (2.39%) y la antrópica (0.12%) (Semarnat, 2019), con impactos ambientales severos y consecuencias directas para la salud humana y la economía agrícola, requiriendo acciones urgentes para su mitigación y recuperación.

Existen diversos enfoques sobre agricultura sostenible, que proponen soluciones a los desafíos que enfrenta el sistema agroalimentario (Bless *et al.*, 2023); como ejemplos, está la agricultura orgánica, que comenzó como un movimiento para contrarrestar a la agricultura convencional y la agricultura regenerativa (Elrick *et al.*, 2022), la cual, cada vez adquiere mayor relevancia, debido a los costos acumulados de la agricultura convencional que se manifiestan en el agotamiento de recursos naturales, la contaminación y el cambio climático, lo cual, impacta al medio ambiente, las comunidades rurales y los agricultores (Miller-Klugesherz y Sanderson, 2023).

Para efectos de este trabajo, se consideró que la agricultura regenerativa, se refiere a la implementación de un conjunto de prácticas diversas (mínimo movimiento de suelo, sustitución de insumos químicos por biológicos, rotación de cultivos, uso de cultivos de cobertura, incorporación de residuos de cosecha, entre otras), enfocadas a mejorar la salud del suelo, que además, contribuyen en alguna medida, a los cinco principios descritos por Brown (2018), con el objetivo de mejorar los resultados productivos y socioeconómicos.

Los estudios para evaluar el grado de aplicación de los principios de AR, han abordado diferentes aspectos; en países como Reino Unido, mediante una "puntuación de agricultura regenerativa", asignaron prácticas individuales entre los principios de la agricultura regenerativa (Jaworski *et al.*, 2024). Otros estudios, se enfocaron en analizar el impacto de las prácticas de AR, por ejemplo, en la productividad del caupí en Kenia (Mogaka, 2023), en la gestión agrícola de suelos en Canadá (Kersey *et al.*, 2024), en el incremento del carbono orgánico en el suelo (Rehberger *et al.*, 2023), en beneficios aportados en diferentes agroecosistemas (Khangura *et al.*, 2023), en la seguridad alimentaria en África Oriental (Ntawuhiganayo *et al.*, 2023), en la salud del suelo y densidad de nutrientes en Estados Unidos (Montgomery *et al.*, 2022) o en el uso de insumos en la AR y de sus relaciones con el rendimiento y los resultados fiscales (Voisin *et al.*, 2024).

Se han realizado estudios para analizar los procesos de transición y las motivaciones para el cambio hacia prácticas regenerativas, como el de Miller-Klugesherz y Sanderson (2023), quienes mencionan que la razón principal de las acciones, es para mantener o reconstruir buenos suelos, alimentos saludables, familias y comunidades fuertes. Frankel-Goldwater *et al.* (2023), descubrieron varios impulsores para el cambio, siendo el principal, mejorar la salud de las personas, los suelos y los ecosistemas, a través de prácticas agrícolas y configuraciones sociales relacionadas. Gosnell (2022), menciona que las experiencias

negativas con los agroquímicos asociadas con costos crecientes y resultados decrecientes, fueron un importante impulsor del cambio. Beacham *et al.* (2023), sugieren que no existe un viaje o transición único y refieren que la AR, puede entenderse como un conjunto de prácticas adoptadas de una manera más gradual y pragmática.

A medida que la agricultura regenerativa se extendió, los encargados de formular políticas y tomar decisiones, se interesaron en sus prácticas. Sin embargo, se sabe poco sobre los factores que impulsan su adopción entre agricultores y ganaderos (Frankel-Goldwater *et al.*, 2023); tampoco está claro que consideran los agricultores como prácticas de gestión sostenible del suelo y cómo se relacionan con los principios de la AR (Jaworski *et al.*, 2024). Se debe considerar que los objetivos y prácticas de AR, no son igualmente relevantes ni aplicables a todos los sistemas agrícolas y contextos locales (Schreefel *et al.*, 2022), además de que no se comprenden bien los impulsores del rápido surgimiento de la agricultura regenerativa (Bless *et al.*, 2023). A pesar de los beneficios mencionados de la AR, la mayoría de productores, se muestran reacios a adoptar estas prácticas, debido a la falta de evidencia empírica sobre sus beneficios y rentabilidad (Khangura *et al.*, 2023).

En este contexto, el objetivo del estudio, fue comparar la rentabilidad del maíz en diferentes sistemas de producción y analizar en qué medida, las prácticas de manejo actuales, se corresponden con los principios de la agricultura regenerativa, tomando como estudio de caso, la producción de maíz en la región del Bajío del estado de Guanajuato, ya que se considera que existen prácticas de agricultura regenerativa, que contribuyen a un sistema de producción con bajos costos, sin disminuir los rendimientos y con beneficios ambientales.

## MARCO TEÓRICO

El presente trabajo, aborda desde la teoría del Desarrollo Rural del cual surge la Economía Ecológica o Ambiental y como parte de esta, la Agroecología, que es la ciencia que estudia los sistemas de producción con seres vivos, desde una perspectiva sistémica y transdisciplinaria; y la sostenibilidad, entendida como la satisfacción de las necesidades actuales de la humanidad, sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras de la especie (Gómez *et al.*, 2015).

El concepto de sostenibilidad, surge por una serie de elementos de diferente orden, como una mayor conciencia de la crisis ambiental y su dimensión global, que acentuaron la prioridad de retomar el crecimiento económico, con alternativas tecnológicas y energéticas; asimismo, se plasmaron propuestas teórico-políticas provenientes del campo ambiental y del campo de las relaciones internacionales (Foladori y Pierri, 2005). El movimiento de la agricultura sostenible, se generó desde varios movimientos de reforma de Estados Unidos, Canadá y el Oeste Europeo, que se desarrollaron en respuesta a preocupaciones sobre

impactos de la agricultura. Algunos ejemplos, son la sobreexplotación de los recursos no renovables, degradación del suelo, salud y efectos ambientales y químicos agrícolas, inequidad, declinación de comunidades rurales, pérdida de valores tradicionales agrarios, calidad alimentaria, seguridad de los trabajadores agrícolas, disminución de autosuficiencia y aumento de tamaño de los productores; dichos problemas, se asociaron con la agricultura convencional (Hansen, 1996), que se caracteriza por el uso intensivo de insumos externos (energía fósil, fertilizantes químicos sintéticos, pesticidas y herbicidas) y el empleo de prácticas agrícolas mecanizadas.

Existen dos interpretaciones de la sostenibilidad agrícola: la sostenibilidad interpretada como un enfoque de la agricultura desarrollada, en respuesta a las preocupaciones sobre los impactos de la agricultura, con el objetivo de motivar la adhesión a ideologías y prácticas sostenibles; y la sostenibilidad interpretada como una propiedad de la agricultura desarrollada, en respuesta a las preocupaciones sobre las amenazas a la agricultura, con el objetivo de utilizarla como criterio para guiar la agricultura en su respuesta al cambio (Hansen, 1996).

El término agricultura sostenible, se ha utilizado como un “término paraguas”, abarcando varias aproximaciones ideológicas de la agricultura, incluyendo: agricultura orgánica, agricultura biológica, agricultura alternativa, agricultura ecológica, agricultura de bajos insumos, agricultura biodinámica, agricultura regenerativa, permacultura y agroecología (Foladori y Pierri, 2005), incluyendo la agricultura de conservación.

La agricultura regenerativa, es una alternativa que busca transformar la producción de alimentos y reparar los ecosistemas (Gordon *et al.*, 2023). Se refiere a un conjunto de principios, prácticas o resultados, que buscan mejorar la salud del suelo, la biodiversidad, el clima, la función de los ecosistemas y los resultados socioeconómicos (Sands *et al.*, 2023). No existe un consenso entre los estudiosos del tema sobre una sola definición de AR, sin embargo, coinciden en que se enfoca en la recuperación y mejoramiento de la calidad de los suelos. Al respecto, Schreefel *et al.* (2020), la definen como un enfoque de la agricultura que utiliza la conservación del suelo, como punto de entrada para regenerarse y contribuir a múltiples servicios de suministro, regulación y apoyo, con el objetivo de que esto mejore las dimensiones ambientales, sociales y económicas de la producción sostenible de alimentos. Para alcanzar estos objetivos, los agricultores pueden aplicar diferentes prácticas (Schreefel *et al.*, 2022). La gestión sostenible del suelo, impide su degradación, mantiene la producción de alimentos y de los servicios ecosistémicos fundamentales (Jaworski *et al.*, 2024).

Se señalan cinco principios de la salud del suelo, que son los principios rectores de un sistema regenerativo; principios que hacen énfasis en trabajar con el sistema natural (Manshanden *et al.*, 2023) y que Brown (2018) describió como:

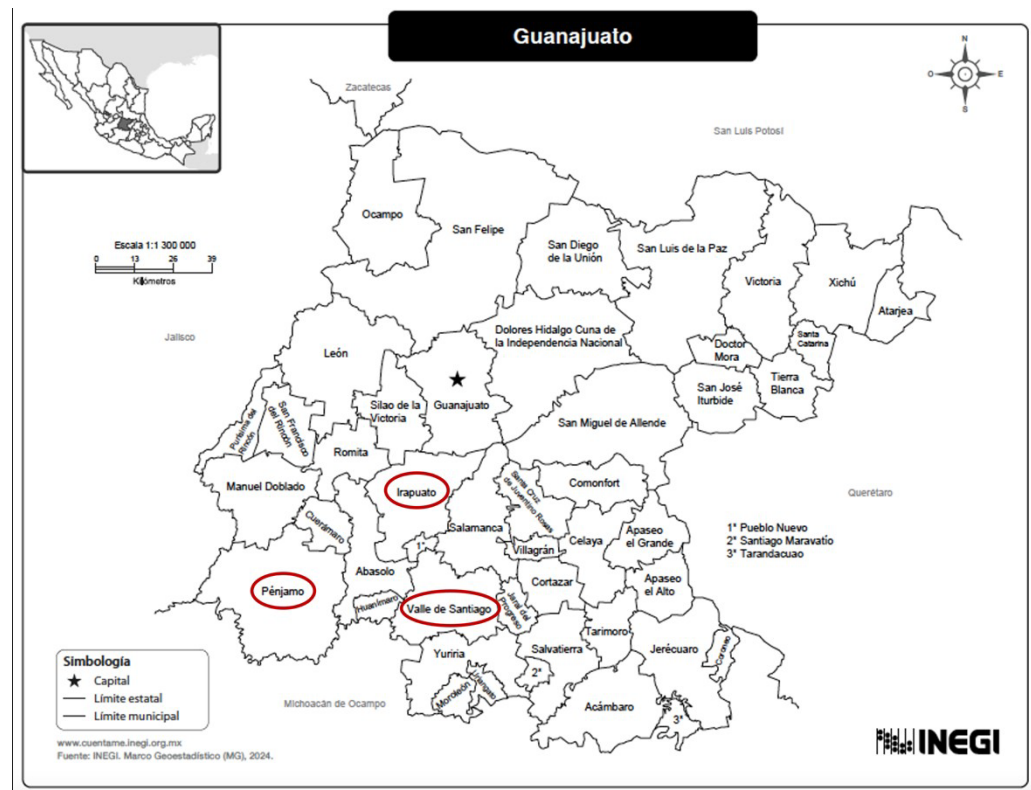
a) minimizar la perturbación del suelo: la perturbación física o química del suelo tendrá un impacto negativo en su estructura, fertilidad y salud en general; b) maximizar la diversidad de cultivos: busca aumentar la resiliencia del sistema, apoyar la biodiversidad y un suelo rico y saludable; c) mantener el suelo cubierto: el suelo desnudo es susceptible a la erosión, la evaporación y la germinación de malas hierbas, mantener el suelo cubierto lo protegerá del clima y lo alimentará de vida; d) mantener las raíces vivas durante todo el año: para proporcionar nutrientes para la vida del suelo, y e) integrar la ganadería: mejorará el ciclo de nutrientes del suelo.

Por su parte, la agricultura de conservación, es un concepto que apoya la gestión sostenible de la tierra, la protección del medio ambiente y la adaptación y mitigación del cambio climático. Se basa en tres principios interrelacionados: 1) mínima alteración mecánica del suelo (labranza cero/sin labranza), mediante la colocación directa de semillas o fertilizantes, esto reduce la erosión del suelo y preserva la materia orgánica; 2) cobertura vegetal permanente del suelo (al menos 30%), con residuos de cultivos o cultivos de cobertura para mantener una capa protectora de vegetación en la superficie del suelo, que suprime las malezas y protege el suelo del impacto de los patrones climáticos extremos, ayuda a preservar la humedad del suelo y evita la compactación del suelo, y 3) diversificación de especies a través de rotaciones de cultivos variadas y asociaciones que involucran al menos tres especies de cultivos diferentes. Estos principios acompañados de otras buenas prácticas, como el uso de semillas de calidad, la gestión integrada de plagas, nutrientes, malezas y aguas y otros elementos, constituyen una base para la intensificación de la producción agrícola sostenible (FAO, 2022).

## METODOLOGÍA

El estudio se realizó en el estado de Guanajuato, México, uno de los principales productores de granos del país. En el ciclo primavera verano 2023, ocupó el quinto lugar en la producción de maíz grano, aportando 6.4% de la producción nacional. Para este estudio, se obtuvo y analizó información sobre la producción de maíz en el ciclo primavera-verano 2023, en los municipios de Pénjamo, Irapuato y Valle de Santiago como casos de estudio (Figura 1).

Pénjamo, se ubica entre los paralelos 20°11' y 20°38' N y 101°35' y 102°6' O, su altitud varía de 2,500 a 1,600 msnm, tiene una extensión territorial de 1,565.5 km<sup>2</sup> (5.10% del total), comprende 589 localidades y 154,960 habitantes (INEGI, 2020). En la región plana del municipio, el clima es templado, y en la sierra es frío; la temperatura máxima es de 34 °C y la mínima es de 4.6 °C; con una media anual de entre 16-22 °C. La precipitación pluvial es de 670 mm anuales; los suelos son Vertisol: (61.93%), Phaeozem (23.12%), Luvisol (7.91%) y Leptosol (5.28%). Las principales actividades económicas, giran en torno a la agricultura (maíz, trigo, cebada, tomate, otras hortalizas) y la ganadería, también tiene



Fuente: elaboración propia a partir de información de INEGI (2020).

**Figura 1.** Ubicación de los municipios incluidos en el estudio.

importancia el sector tequilero (Hacienda Corralejo), la industria agroindustrial, comercio y turismo (sitios históricos y gastronómicos) (INEGI, 2010b).

Irapuato está localizado entre los paralelos  $20^{\circ} 51'$  y  $20^{\circ} 30'$  N y  $101^{\circ} 08'$  y  $101^{\circ} 33'$  O, con una altitud entre los 2,400 y los 1,600 msnm, tiene una extensión territorial de 851.1 km<sup>2</sup> (2.8% del estado), cuenta con 571 localidades y tiene 592,953 habitantes (INEGI, 2020). Predomina el clima semicálido subhúmedo, con lluvias en verano de menor humedad, con una temperatura de entre 6 y 22°C; la precipitación pluvial es de 600 a 900 mm anuales; los suelos son: Vertisol (65.11%), Phaeozem (18.66%), Cambisol (3.89%), Chernozem (2.87%) y Regosol (0.33%). Las actividades económicas, se centran en la industria automotriz (fabricación de partes), agricultura (especialmente fresas y hortalizas), comercio y servicios (INEGI, 2010a).

Valle de Santiago se encuentra entre los paralelos  $20^{\circ} 33'$  y  $20^{\circ} 14'$  N; los meridianos  $101^{\circ} 04'$  y  $101^{\circ} 28'$  O, con una altitud de 1,720 msnm, ocupa 2.7% de la superficie del estado, cuenta con 283 localidades y una población de 150,054 habitantes (INEGI, 2020). La temperatura fluctúa entre los 16 y 22 °C, su rango de precipitación oscila entre los 600 y 900 mm anuales, por lo que se considera

semicálido subhúmedo, con lluvias en verano de menor humedad (85.1%); templado subhúmedo, con lluvias en verano de menor humedad (12.3%), y templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (2.6%); el tipo de suelo dominante es Vertisol (82%) y Phaeozem (15.5%). Las actividades, económicas giran en torno a la agricultura (sorgo, maíz, frijol y alfalfa verde) y la ganadería (INEGI, 2010c).

Los municipios se seleccionaron por sus economías con pilares en el comercio, la agricultura y ganadería. Dentro de la producción estatal de maíz, Pénjamo ocupó el primer lugar aportando 12.3%, Valle de Santiago ocupó el quinto lugar con 5.8% e Irapuato, ocupó el sexto lugar con 5.6% (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP, 2024); asimismo, en estos lugares, se pueden encontrar los sistemas de producción convencional, se practica la agricultura regenerativa y el sistema de labranza de conservación.

El enfoque metodológico del presente trabajo, fue cuantitativo, utilizando las siguientes técnicas y herramientas para la recopilación de la información: revisión documental, parcela de validación (registro de variables) y tres talleres para recoger datos sobre costos de producción, realizados en diciembre de 2023, con la participación de tres productores y sus respectivos asesores técnicos; se realizó un taller por unidad de producción (UP1, UP2 y UP3), de tal manera que, cada sesión, correspondió a la UP del productor y asesor técnico participantes.

Para estudiar el sistema de producción convencional, se realizó una revisión documental, tomando como referencia, datos del sistema Agrocostos generados por Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). El sistema de Agrocostos, es una herramienta que permite estimar de manera paramétrica, costos de producción agrícola en una zona o región determinada, bajo una tecnología de producción específica. Mediante los registros, se estima el costo de producción agrícola de un paquete tecnológico en diferentes regiones o zonas agroecológicas (FIRA, 2023). Esta información, contiene los costos de producción de maíz blanco o amarillo, con labores agrícolas a base de maquila con precios de labores, mano de obra e insumos al 15 de febrero de 2023 y aplica para todos los municipios del Estado de Guanajuato, con potencial productivo bajo condiciones de riego por bombeo.

La colecta de datos para el enfoque regenerativo, se realizó mediante el análisis de registros de labores y costos proporcionados por los asesores técnicos de cada unidad. Dichos registros, se complementaron mediante talleres individuales de validación con cada productor, consistentes en sesiones de trabajo en las que un investigador del equipo revisó y completó la información empleando una plantilla prediseñada; en cada sesión, participaron el productor, su asesor técnico y un investigador del equipo. La información de la parcela de validación que realizó el Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) Villadiego, se obtuvo igualmente mediante registros de Agrocostos y complementada con

una sesión con los responsables, para comentar y aclarar dudas respecto a los datos proporcionados. Para todas las unidades analizadas, las tres UP con enfoque regenerativo (UP1, UP2 y UP3), la parcela de validación del CDT Villadiego (UP4, labranza de conservación) y el referente del sistema convencional (FIRA/Agrocostos), se consideraron los costos de operación directos desembolsados en el ciclo analizado, los rendimientos y el precio de venta.

Para el análisis de la información, se utilizaron libros de Excel con plantillas prediseñadas, para recabar la información sobre costos de las labores realizadas, costo de la mano de obra, costos de los insumos, rendimientos y precios de venta. Se compararon las diferencias en costos, rendimientos, utilidades y relación beneficio/costo, así como las diferencias en los coeficientes técnicos empleados en cada unidad estudiada.

La producción bajo el enfoque regenerativo, incluyó tres unidades de producción, que se seleccionaron considerando que al momento de realizar los análisis, ya estuvieran incorporadas algunas prácticas de AR (mínimo movimiento de suelo, sustitución de insumos químicos por biológicos, rotación de cultivos, uso de cultivos de cobertura, incorporación de residuos de cosecha, entre otras). Estas unidades, fueron identificadas a través de consultas con expertos en el tema, quienes además, brindaron asesoría técnica a los productores de esas unidades. La información de la parcela de validación que realizó el CDT Villadiego de FIRA, incluye cuatro parcelas demostrativas con un sistema de producción de labranza de conservación, un testigo y tres dosis de fertilización, la información fue registrada mediante cuadernos de campo. Las unidades analizadas se describen en el Cuadro 1.

En la UP1, se registraron costos de tres procesos de fertilización en parcelas de dos hectáreas cada una, en donde la diferencia fue la nutrición foliar utilizada, ya que se aplicaron productos de tres marcas diferentes (Mairol de Celestian Group, Germinare de Cosmolcel y Hi-crop de Exhotec) y el resto de labores realizadas, fueron iguales. En la UP4, se validaron tres tratamientos en parcelas demostrativas de 3,000 m<sup>2</sup>: el testigo con la fertilización determinada, con base en las necesidades del cultivo y el análisis del suelo, a 100%, el primer tratamiento con inoculación de semilla (con hongos micorrízicos - *Trichoderma* - y bacterias fijadoras de nitrógeno - *Azospirillum*) y 50% del fertilizante determinado, el segundo con la inoculación y 75% del fertilizante y el tercero con la inoculación y el total del fertilizante.

### **Determinación de costos, ingresos y utilidad**

El ingreso total (IT), se calculó sumando la cantidad de productos vendidos ( $Q_i$ ), multiplicado por el precio de mercado de dichos productos ( $P_i$ ).

La estimación de costos totales (CT), incluyó los costos de operación (CO) y costos generales (CG). Los CO, se calcularon multiplicando la cantidad del  $j$ -ésimo insumo empleado en la producción del  $i$ -ésimo producto ( $a_{ij}$ ) por el precio

**Cuadro 1.** Datos generales de las Unidades de Producción (UP) analizadas.

Unidad de Producción	Sistema Convencional		Enfoque Regenerativo				Labranza de Conservación			
	UP1 - T1	UP1 - T2	UP1 - T3	UP2	UP3	UP4 - TES	UP4 - T50	UP4 - T75	UP4 - T100	
Municipio	Edo. Gto.	Pénjamo	Pénjamo	Pénjamo	Irapuato	Valle de Santiago				
Localidad	Edo. Gto.	Lomita de Aceves		San José de Los Sabinos	Rancho Grande	Valle de Santiago				
Cultivo	Maíz blanco	Maíz blanco	Maíz blanco	Maíz blanco	Maíz amarillo	Maíz blanco	Maíz blanco	Maíz blanco	Maíz blanco	
Densidad de siembra (semillas/ha)	120,000	80,000	80,000	105,000	110,000	106,300	106,300	106,300	106,300	
Tiempo en el sistema de producción	NA	1 año		5 años	10 años				30 años	
Tipo de actor	FIRA	Productor	Productor	Productor	Productor	CDT Villadiego FIRA				

Nota: todas las unidades utilizaron semilla híbrida, contaban con riego y como producto se comercializó el grano.  
 Fuente: elaboración propia con información de registros de agrocostos y talleres, 2023.

del *j*-ésimo insumo ( $P_j$ ). Los CG, se calcularon multiplicando la cantidad del *k*-ésimo factor empleado en la producción del *i*-ésimo producto ( $a_{ik}$ ), por el precio del *k*-ésimo factor ( $P_k$ ).

Para determinar la utilidad, se restan los costos totales (CT) a los ingresos totales (IT). La relación beneficio/costo (B/C), sirvió también para medir la rentabilidad de la actividad, respecto a los gastos que fueron empleados para llevar a cabo las operaciones de la producción primaria. La relación B/C, se determina dividiendo los ingresos totales (IT) entre los costos totales (CT).

### Valoración de principios de AR

La valoración de la aplicación de cuatro de los principios de agricultura regenerativa en cada una de las UP estudiadas, se realizó de la siguiente manera: para valorar el principio 1) Minimizar la perturbación del suelo, se dividió en dos conceptos, el primero consistió en minimizar la perturbación física del suelo, para lo cual, se consideró la cantidad de pasos de maquinaria que realizan en un ciclo productivo, desde la preparación del terreno, la siembra y labores culturales, sin considerar la siembra y la trilla, ya que son pasos de maquinaria que no se pueden evitar. El segundo concepto, para el principio uno, fue la sustitución de insumos químicos por biológicos, en el cual, se contabilizó el número de bioinsumos, con respecto al total de insumos utilizados, a excepción de la semilla. Para el principio 2) Maximizar la diversidad de cultivos, se tomó en cuenta si realizaron rotación de cultivos o el uso de cultivos de cobertura, siendo este, el tercer concepto; para el principio 3) Mantener el suelo cubierto, se consideró la cantidad de residuos de cosecha que se incorporaron al suelo, como cuarto concepto y finalmente, para el principio 4) Mantener las raíces vivas durante todo el año, se contabilizaron los meses del año con cultivo comercial o con cultivo de cobertura como quinto concepto.

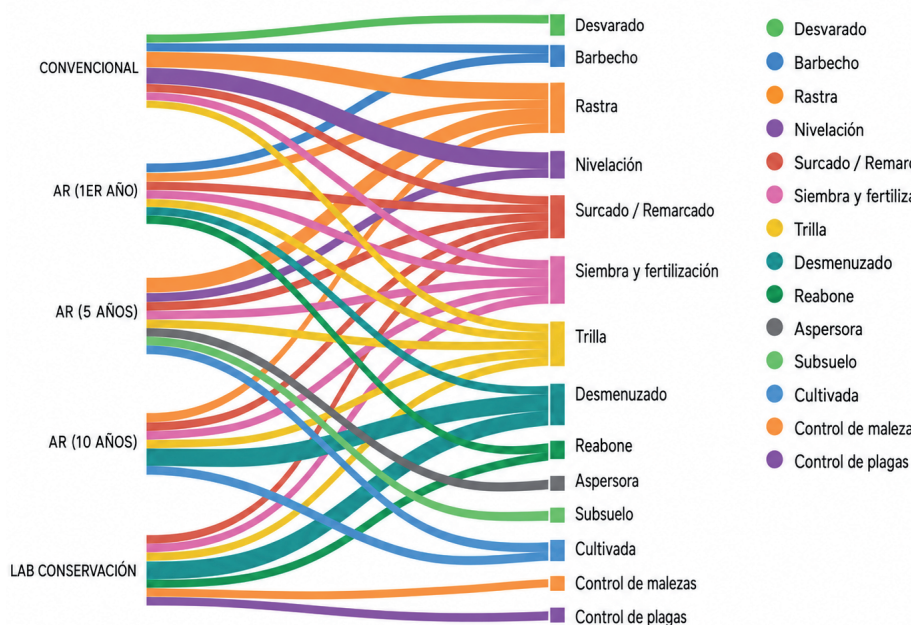
Todos los conceptos medidos, que en total son cinco, tienen el mismo peso y como valor máximo uno. Por lo tanto, al realizar la sumatoria del valor de cada concepto, el mayor puntaje posible a obtener es de cinco. Esta valoración, se considera como una escala de transición hacia la AR, por lo que entre más se acerca al cinco, mayor es el avance en las unidades analizadas.

## RESULTADOS

### Comparación de labores entre sistemas de producción.

Se presenta el análisis de las labores mecánicas realizadas en cada sistema de producción, iniciando con el sistema convencional en el cual, se efectúan nueve pasos de maquinaria durante el proceso de producción y se observa que se incluyen labores de labranza que voltean el suelo, como es el barbecho (Figura 2).

En el caso del enfoque de Agricultura Regenerativa, se realizan entre siete y nueve pasos de maquinaria durante el proceso de producción. Sin embargo,



Fuente: elaboración propia con información de los talleres y registros, 2023.

**Figura 2.** Labores mecánicas realizadas en los sistemas analizados.

si se analizan por separado, las unidades en transición, aún incluyen el barbecho (AR 1ER AÑO); en cambio, las unidades con mayor tiempo en el enfoque de AR, efectúan en promedio, ocho pasos de maquinaria y han eliminado el barbecho (AR 5 y 10 AÑOS). En el sistema de Labranza de Conservación, se realizan ocho pasos de maquinaria durante el proceso de producción y se ha eliminado el barbecho y la rastra. La cantidad y tipo de labores, es muy similar con la AR (5 y 10 AÑOS).

### Comparación de costos de producción del maíz

La preparación del terreno, representa en promedio 11% del total de los costos de producción directos, la siembra 21% y la nutrición 36%, en conjunto, constituyen 68% de los costos totales. El Cuadro 2, presenta el desglose de costos de la producción de maíz para las unidades analizadas.

La UP3 que tiene 10 años implementando acciones con enfoque de AR, tiene el costo de preparación del terreno más bajo (\$2,750/ha), seguido de la UP4 con sistema de labranza de conservación (\$2,950/ha), debido a que se han minimizado las labores realizadas y se han eliminado prácticas como el barbecho. Los costos de la siembra, están influenciados por la cantidad de semilla y el costo de las maquilas, principalmente. Por ello, los menores costos, se presentan en la UP1 (\$6,577/ha), que tuvo la menor densidad de siembra y los costos

**Cuadro 2.** Desglose de costos de producción directos desembolsados.

Costos por etap (\$/ha)	Manejo Convencional		Enfoque Regenerativo					Labranza de Conservación				
	UP1-T1 <sup>1</sup>	UP1-T2 <sup>1</sup>	UP1-T3 <sup>1</sup>	UP2	UP3	UP4-TE5 <sup>2</sup>	UP4-T50 <sup>3</sup>	UP4-T75 <sup>4</sup>	UP4-T100 <sup>5</sup>			
Preparación del terreno	6,900	6,900	6,900	4,040	2,750	2,950	2,950	2,950	2,950			
Siembra	6,577	6,577	6,577	9,388	7,842	9,288	10,788	10,788	10,788			
Riego	1,950	1,950	1,950	1,900	2,922	900	900	900	900			
Nutrición	16,356	16,184	17,391	15,140	11,850	19,112	9,906	14,509	19,112			
Manejo de malezas	3,250	3,250	3,250	890	1,600	3,111	3,111	3,111	3,111			
Manejo de PyE	8,562	8,562	8,562	957	2,250	6,318	6,318	6,318	6,318			
Cosecha	4,041	4,953	4,621	3,000	3,498	4,788	4,446	4,522	4,408			
Total (\$/ha)	47,637	48,377	49,251	35,314	32,712	46,467	38,419	43,098	47,587			

Notas: PyE: Plagas y Enfermedades; <sup>1</sup>Misma unidad, parcelas con diferentes tratamientos (productos) en nutrición foliar; <sup>2</sup>Testigo con fertilización a 100%; <sup>3</sup>Inoculación de semilla y 50% del fertilizante; <sup>4</sup>Inoculación y 75% del fertilizante; <sup>5</sup>Inoculación y 100% del fertilizante.  
 Fuente: elaboración propia con información de los talleres y registros, 2023.

más altos, corresponden a la UP4 (\$10,788/ha), que en conjunto con la densidad de siembra y el tratamiento a la semilla, conformado por la aplicación de micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno, incrementaron los costos. La nutrición o fertilización, es de los principales conceptos de costos en la producción de maíz; en los casos analizados, representó entre 26 y 43% del total de esos costos. Los costos más bajos (\$9,906/ha), se presentaron en la UP4 con el tratamiento a la semilla y 50% del fertilizante determinado, seguida de la UP3, que tiene enfoque de AR. Por otra parte, los costos más altos (\$19,112/ha), se presentaron también en la UP4, con la aplicación de 100% del fertilizante. El manejo de plagas, enfermedades y malezas representó 19% del total de los costos. Este, se realizó con mayor intensidad en la UP1, que es el primer año que implementa cambios y ascendió a \$11,812/ha; en el enfoque regenerativo, por el contrario, los menores costos en este concepto, los tienen las unidades UP2 (\$1,847/ha) y UP3 (\$3,850/ha).

#### **La rentabilidad del maíz en los sistemas analizados**

Se analizaron unidades que produjeron y comercializaron maíz para grano a precio de mercado, bajo diferentes sistemas: el enfoque de Agricultura Regenerativa y el de Labranza de Conservación, contrastados con el manejo Convencional (Cuadro 3).

La inversión por hectárea más alta, fue la correspondiente al sistema convencional (\$49,807/ha) y la más baja, correspondió a las unidades UP3 (\$32,712/ha) y UP2 (\$35,314/ha), que tienen cinco y 10 años trabajando con el enfoque de AR, respectivamente.

En cuanto a la eficiencia técnica, medida a través de los rendimientos obtenidos (toneladas por hectárea), se presentaron variaciones entre unidades analizadas, mostrando los mayores valores en la UP1-T2 (16.5 t/ha) y el menor rendimiento en la UP2 (10 t/ha). En el caso de los diferentes tratamientos del CDT Villadiego, los rendimientos no presentaron grandes variaciones, pero sí los costos de producción en los diferentes tratamientos. En general, los rendimientos fueron muy similares en los tres sistemas.

Se muestra que la Agricultura Regenerativa, tuvo los menores costos por tonelada producida (eficiencia económica), variando de \$2,759/t a \$3,536/t, algunas de las utilidades más altas en un rango de \$14,686/ha hasta \$34,168/ha y algunos de los mejores indicadores en la relación beneficio/costo (desde 1.41 hasta 1.81). Por lo tanto, se puede afirmar que tiene las unidades más rentables.

#### **Valoración de la aplicación de principios de Agricultura Regenerativa**

La valoración de la medida en que cada UP ha realizado acciones que se relacionan con los principios de AR, se puede retomar como una escala de transición hacia un enfoque regenerativo, ya que se acercan más conforme mayor es la puntuación que alcanzan (Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Principales variables e indicadores de las unidades analizadas.

Variable	Sistema Convencional		Enfoque Regenerativo					Labranza de Conservación					
		UP1-T1 <sup>1</sup>	UP1-T2 <sup>1</sup>	UP1-T3 <sup>1</sup>	UP2	UP3	UP4-TES <sup>2</sup>	UP4-T50 <sup>3</sup>	UP4-T75 <sup>4</sup>	UP4-T100 <sup>5</sup>			
Ingresos (\$/ha)	60,000	67,355	82,545	77,010	50,000	59,290	63,000	58,500	59,500	58,000			
Costos directos (\$/ha)	49,807	47,637	48,377	49,251	35,314	32,712	46,467	38,419	43,098	47,587			
Utilidades (\$/ha)	10,193	19,718	34,168	27,759	14,686	26,578	16,533	20,081	16,402	10,413			
Rendimiento (t/ha)	12.0	13.5	16.5	15.4	10.0	11.9	12.6	11.7	11.9	11.6			
Costo por tonelada (\$/t)	4,151	3,536	2,930	3,198	3,531	2,759	3,688	3,284	3,622	4,102			
Relación B/C	1.2	1.41	1.71	1.56	1.42	1.81	1.36	1.52	1.38	1.22			

Notas: PyE; Plagas y Enfermedades; <sup>1</sup>Misma unidad, parcelas con diferentes tratamientos (productos) en nutrición foliar; <sup>2</sup>Tesrigo con fertilización a 100%; <sup>3</sup>Inoculación de semilla y 50% del fertilizante; <sup>4</sup>Inoculación y 75% del fertilizante; <sup>5</sup>Inoculación y 100% del fertilizante.  
 Fuente: elaboración propia con información de los talleres y registros, 2023.

**Cuadro 4.** Valoración de principios de AR (Escala de transición).

Principios	Sistema Convencional		Enfoque Regenerativo					Labranza de Conservación					Media por principio
	UP1-T1 <sup>1</sup>	UP1-T2 <sup>1</sup>	UP1-T3 <sup>1</sup>	UP2	UP3	UP4-TES <sup>2</sup>	UP4-T50 <sup>3</sup>	UP4-T75 <sup>4</sup>	UP4-T100 <sup>5</sup>				
1.1 Minimizar la perturbación física del suelo	0.59	0.71	0.71	0.59	0.71	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.66
1.2 Sustitución de insumos químicos por biológicos	-	0.24	0.27	0.43	0.56	0.07	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.22
2. Maximizar la diversidad de cultivos	-	-	-	-	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25
3. Mantener el suelo cubierto	-	1.00	1.00	0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84
4. Mantener las raíces vivas durante todo el año	0.67	0.33	0.33	0.33	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.53
Total por unidad (Escala de transición <sup>6</sup> )	1.25	2.28	2.31	1.70	3.43	2.88	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	

Notas: PyE: Plagas y Enfermedades; <sup>1</sup>Misma unidad, parcelas con diferentes tratamientos (productos) en nutrición foliar; <sup>2</sup>Testigo con fertilización a 100%; <sup>3</sup>Inoculación de semilla y 50% del fertilizante; <sup>4</sup>Inoculación y 75% del fertilizante; <sup>5</sup>Inoculación y 100% del fertilizante; <sup>6</sup>El valor máximo de la escala de transición es de cinco. Fuente: elaboración propia con información de los talleres y registros, 2023.

El principio con mayor avance, de manera general, es mantener el suelo cubierto (84%) que se contabilizó mediante la cantidad de residuos de cosecha que se dejaron en el suelo, tanto las unidades con enfoque regenerativo, así como la labranza de conservación realizaron esta práctica. En la segunda posición, está el principio de minimizar la perturbación física del suelo (66%), en cuanto a la reducción del disturbio físico, debido a que se han reducido las labores de labranza del suelo, donde destacan por puntuación la UP1 y UP3 que tienen enfoque regenerativo. Estas prácticas, son de las primeras en las que se puede incidir, mismas que producen reducción de costos en la etapa inicial de la transición.

El principio de minimizar la perturbación del suelo en la parte química, es el que tuvo menor avance y consistió en la sustitución de insumos químicos por biológicos (22%), así como la incorporación de insumos más amigables con el ambiente, acciones que se realizan en mayor medida, sólo por las unidades con enfoque regenerativo, aún de manera incipiente. Estas unidades, han incorporado tratamientos a la semilla, con productos que contienen microorganismos benéficos y nutrición a la semilla, el uso de bacterias aceleradoras de la descomposición de materia orgánica que se asperja en los residuos de cosecha, uso de algunos bioinsumos para la nutrición y para el control de algunas plagas y enfermedades. En este aspecto, destaca la UP3, con un avance de 56% en este principio.

La unidad con más avance general en esta escala de transición, fue la UP3, que tiene 10 años con este enfoque. Las acciones que han realizado y que contribuyen a esta valoración, fueron la disminución de labores mecanizadas, la utilización de bioinsumos, la rotación de cultivos, dejar 100% de residuos y realizar dos ciclos productivos. En el segundo lugar, está la UP4 con enfoque de labranza de conservación, que destacó en los mismos conceptos, a excepción del uso de bioinsumos.

## DISCUSIÓN

Respecto a la cantidad de labores mecánicas realizadas, la labranza de conservación fue muy similar en número con el enfoque regenerativo, particularmente en la UP3, por la reducción de labores en la preparación del terreno. Una de las prácticas sostenibles de gestión del suelo y también considerada como práctica clave, es la labranza cero o labranza mínima, para reducir la alteración del suelo (Jaworski *et al.*, 2024; Khangura *et al.*, 2023); por lo tanto, es una práctica implementada tanto en la labranza de conservación, como en la agricultura regenerativa, como es el caso de las unidades estudiadas, además de la adaptación y adopción de un conjunto de prácticas combinadas por parte de los productores.

Los costos de preparación del terreno más bajos, se encontraron en las unidades con labranza de conservación (\$2,950/ha) y en las que tienen mayor tiempo

realizando cambios enfocados hacia la AR, la UP3 (\$2,750/ha) y UP2 (\$4,040/ha), debido a que se han minimizado labores, en específico, la eliminación de prácticas como el barbecho, lo cual coincide con lo documentado por Khanguira *et al.* (2023), quienes mencionan que la labranza mínima o nula, se adopta como medio de ahorro de costos y también para brindar beneficios en áreas propensas al riesgo de erosión hídrica y del suelo.

Referente a los costos del manejo de plagas, enfermedades y malezas, se realizó con mayor intensidad en la UP1 (\$11,812/ha), que provino de un sistema convencional y fue el primer año que implementó cambios, así como en las unidades con labranza de conservación (\$9,429/ha). Esto coincide con Jaworski *et al.* (2024), que mencionan que los agricultores que utilizan cultivos intensivos convencionales en rotaciones cortas, se han enfrentado a malezas, plagas y enfermedades cada vez más difíciles de tratar, agravadas por fenómenos climáticos extremos. También LaCanne y Lundgren (2018), encontraron que, las plagas fueron 10 veces más abundantes en los campos de maíz tratados con insecticidas, que en las granjas regenerativas libres de insecticidas.

Al valorar la productividad de las unidades analizadas, se encontró que las que tienen mayor tiempo con el enfoque de AR, destacan por sus menores costos de producción, aunque no todas sobresalen en rendimiento, más bien se mantienen muy similares respecto a los otros sistemas analizados. Estos datos, coinciden con un estudio realizado, donde evaluaron tres prácticas de AR: la reducción de la intensidad de labranza, cultivos de cobertura e inclusión de una fase basada en pastos en las rotaciones de cultivos (rotaciones pradera-pradera) y concluyeron que ninguna de estas prácticas, reduce el rendimiento durante los años de cultivo, aunque no encontraron evidencia de una situación beneficiosa para ambas partes entre el aumento del carbono orgánico en el suelo y la mejora de la productividad agrícola tras su adopción (Jordon *et al.*, 2022).

Se afirma que en los primeros años, después de implementar prácticas de AR, es probable que se produzca una reducción de los ingresos, aunque los rendimientos podrían mantenerse al nivel actual y se requeriría más mano de obra o una mecanización más precisa; sin embargo, a medida que continúa la transición, es probable que los retornos a escala y la innovación, reduzcan los costos (Manshanden *et al.*, 2023). Igualmente, LaCanne y Lundgren (2018) indican en su estudio, que los campos regenerativos, tuvieron una producción de grano 29% menor, pero una rentabilidad 78% mayor que los sistemas tradicionales de producción de maíz. También Akplo *et al.* (2025), encontraron que la labranza mínima, al reducir los costos, condujo a un aumento de 3 a 8% en los ingresos brutos y un aumento de 20 a 70%, en el margen bruto para el algodón y en el maíz resultó en un aumento de los ingresos brutos y el margen de 13% y 27%, respectivamente, en comparación con la CT en 2022. Esto concuerda con los resultados encontrados, ya que al comparar las utilidades y la

relación beneficio costo, como medida de la rentabilidad de la actividad, el enfoque regenerativo tuvo algunos de los mejores indicadores, utilidades de 44% a 235%, superiores con respecto al sistema convencional y relación beneficio/costo desde 1.41 hasta 1.81 versus 1.2 del sistema convencional, especialmente la unidad con mayor tiempo en este enfoque; asimismo, los rendimientos se mantuvieron muy similares en los sistemas analizados.

En cuanto a la valoración de la medida en que cada UP ha realizado acciones que se relacionan con los principios de la agricultura regenerativa, esta no especifica un conjunto particular de prácticas, lo cual se debe a que busca la adaptación al contexto local (suelo, sistema agrícola y clima), para regenerar los recursos agrícolas con especial atención al suelo, el agua y la biota, con la finalidad de lograr resultados positivos para la salud ambiental y del suelo (O'Donoghue *et al.*, 2022). En este contexto, los resultados mostraron que las unidades que tienen mayor tiempo con el enfoque de AR, avanzaron en la reducción de la perturbación física y química del suelo, al optar por una labranza reducida como actividad clave (Jaworski *et al.*, 2024; Khangura *et al.*, 2023) y la reducción de insumos químicos, sustituyéndolos por insumos más amigables con el ambiente. Algunos autores, sugieren la eliminación de los insumos externos al paso del tiempo (Manshanden *et al.*, 2023; Pérez, 2021), sin embargo, esto no se observa en la mayoría de las unidades.

Las prácticas agrícolas como la labranza mínima, la retención de residuos y los cultivos de cobertura, pueden mejorar el carbono del suelo, el rendimiento de los cultivos y la salud del suelo en determinadas zonas climáticas y tipos de suelo (Austen *et al.*, 2022; Van Eerd *et al.*, 2023). Pese a ello, los beneficios de las prácticas de AR, pueden variar entre diferentes agroecosistemas y no necesariamente pueden ser aplicables en múltiples regiones agroecológicas (Khangura *et al.*, 2023), lo que coincide con los hallazgos, pues la rotación de cultivos y los cultivos de cobertura, son de las prácticas menos implementadas. Además, la AR, se superpone con otras prácticas agrícolas, incluidas las asociadas con la agroecología y la agricultura de conservación (Voisin *et al.*, 2024).

Mantener las raíces vivas durante la mayor parte del año, está influenciado fuertemente por el régimen hídrico, ya que la falta de agua, conduce a sólo un ciclo productivo, sin embargo, los cultivos de cobertura, podrían ser una opción a considerar, que además tienen otros beneficios económicos y ambientales (Van Eerd *et al.*, 2023). Por otra parte, la diversidad de cultivos, se ve afectada por la especialización productiva en la zona, que se dedica a la producción de granos (maíz, sorgo, cebada, trigo) y las rotaciones cuando se realizan, son entre gramíneas generalmente, situación contraria a la encontrada por Ntawuhiganayo *et al.* (2023), que mencionan que las prácticas regenerativas más adoptadas, fueron las menos intensivas en mano de obra, como la rotación de cultivos y los cultivos intercalados.

En el estudio de Jaworski *et al.* (2024), se encontró que los grupos de agricultores con mayores puntuaciones en AR (grupo 2 con 3.37 y grupo 4 con 3.05), fueron aquellos que realizaron una combinación de prácticas de gestión sostenible del suelo, como son el uso de cultivos de cobertura, en su mayoría combinados con leguminosas, rotación diversa y labranza cero o labranza mínima, quienes también utilizaban prados herbáceos o rastrojos de invierno, pastoreo holístico y estiércol, así como retorno de residuos de cultivos. Esto fue similar a lo encontrado en este estudio, ya que en resumen, las unidades analizadas que tuvieron las mayores puntuaciones en la valoración realizada (UP3 con 3.43 y UP4 con 2.94), fueron las que redujeron la labranza, sustituyeron en mayor medida los insumos químicos por biológicos, dejaron 100% de los residuos de cosecha y realizaron rotaciones en dos ciclos productivos.

La valoración de la aplicación de los principios de AR realizada en este trabajo, considera lo mencionado por (Khangura *et al.*, 2023), quienes indican que no existe un enfoque universal, ya que las prácticas de AR deben adaptarse al entorno agrícola y climático específico en el que se utilizan, por lo que antes de implementar un sistema de AR, se deben abordar factores como las precipitaciones, la temperatura, el tipo de suelo, la combinación de empresas agrícolas, los mercados y las preferencias individuales. Además, algunas prácticas de AR se superponen con otras formas de agricultura sostenible, como la agricultura de conservación, la agricultura orgánica, la agricultura de bajos insumos, la agricultura climáticamente inteligente y la agricultura de carbono.

Finalmente, para que las unidades de producción se gestionen de manera adecuada, es importante la adopción de innovaciones relacionadas con la gestión sostenible del suelo y a su vez con la AR, para prevenir la degradación de los suelos y mantener la producción sostenible de alimentos (Jaworski *et al.*, 2024).

## CONCLUSIONES

En los casos analizados, la comparación económica entre sistemas de producción de maíz, indica que las unidades con mayor permanencia en prácticas asociadas a la agricultura regenerativa, registraron menores costos directos por hectárea (entre \$32,712/ha y \$35,314/ha), en comparación con el referente convencional (\$49,807/ha), con rendimientos ubicados en un rango comparable (11.9–16.5 t ha<sup>-1</sup>). Desde la perspectiva operativa, estas diferencias se relacionan con la reducción o eliminación de labores intensivas (por ejemplo, barbecho) y, en consecuencia, con un menor número de intervenciones mecanizadas (7 a 9 pasos de maquinaria), frente a 9 en el sistema convencional.

En relación con la correspondencia del manejo con los principios de la agricultura regenerativa, la valoración de prácticas, permitió construir una escala de transición que osciló entre 1.70 y 3.43, útil para describir, de manera comparativa, el grado relativo de alineación de cada unidad con dichos principios. Esta escala, constituye una herramienta de caracterización del

manejo; por sí misma, no implica mejoras biofísicas o ambientales, las cuales requieren medición directa mediante indicadores específicos.

Dado que el análisis se sustenta en un ciclo productivo y en casos que no pretenden representatividad estadística, los resultados, deben interpretarse como evidencia exploratoria. Para robustecer la inferencia, se recomienda ampliar la evaluación a múltiples ciclos y unidades e incorporar indicadores de salud del suelo (por ejemplo, materia orgánica, estabilidad de agregados y actividad biológica), de modo que puedan contrastarse de forma integral, los efectos productivos, económicos y biofísicos de los sistemas evaluados.

#### AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)  
Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).  
CDT Villadiego de FIRA.  
Productores cooperantes y asesores técnicos de Pénjamo e Irapuato.

#### REFERENCIAS

- Akplo TM, Yemadje PL, Imorou L, Sanni B, Boulakia S, Sekloka E, Tittonell P. 2025. Minimum tillage reduces variability and economic risks in cotton-maize rotations in Northern Benin. *Field Crops Research*, 324. 109795. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109795>.
- Austen N, Tille S, Berdeni D, Firbank LG, Lappage M, Nelson M, Helgason T, Marshall-Harries E, Hughes HB, Summers R, Cameron DD, Leake JR. 2022. Experimental evaluation of biological regeneration of arable soil: The effects of grass-clover leys and arbuscular mycorrhizal inoculants on wheat growth, yield, and shoot pathology. *Frontiers in Plant Science*, 13. 955985. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.955985>.
- Beacham JD, Jackson P, Jaworski CC, Krzywoszynska A, Dicks LV. 2023. Contextualising farmer perspectives on regenerative agriculture: A post-productivist future? *Journal of Rural Studies*, 102. 103100, 9. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103100>.
- Bless A, Davila F, Plant R. 2023. A genealogy of sustainable agriculture narratives: implications for the transformative potential of regenerative agriculture. *Agriculture and Human Values* 40. 1379–1397. <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10444-4>.
- Brown G. 2018. *Dirt to soil: one family's journey into regenerative agriculture* (Primera ed). London, UK: Chelsea Green Publishing.
- Elrick W, Luke H, Stimpson K. 2022. Exploring opportunities and constraints of a certification scheme for regenerative agricultural practice. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46(10). 1527–1549. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2121950>.
- FAO. 2022. *Agricultura de conservación*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/what-is-conservation-agriculture/es/>.
- FIRA. 2023. *Agrocostos*. <https://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp>.
- Foladori G, Pierri N. 2005. *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre desarrollo sustentable* (Primera ed). Universidad Autónoma de Zacatecas: México.
- Frankel-Goldwater L, Wojtynia N, Dueñas-Ocampo S. 2023. Healthy people, soils, and ecosystems: uncovering primary drivers in the adoption of regenerative agriculture by US farmers and ranchers. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. 1–21. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1070518>.
- Gómez LF, Ríos LA, Eschenhagen ML. 2015. El concepto de sostenibilidad en agroecología. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2). 329–337. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n2.2015.157>.
- Gordon E, Davila F, Riedy C. 2023. *Regenerative agriculture: a potentially transformative*

- storyline shared by nine discourses. *Sustainability Science*, 18(4). 1833–1849. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01281-1>.
- Gosnell H. 2022. Regenerating soil, regenerating soul: an integral approach to understanding agricultural transformation. *Sustainability Science*, 17(2). 603–620. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00993-0>.
- Hansen JW. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept? *Agricultural Systems*, 50(2). 117–143. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(95\)00011-S](https://doi.org/10.1016/0308-521X(95)00011-S).
- INEGI. 2010a. Compendio de información geográfica municipal 2010 Irapuato Guanajuato. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/compendio/Guanajuato/11017/mgm11017.pdf>.
- INEGI. 2010b. Compendio de información geográfica municipal 2010 Pénjamo Guanajuato. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/compendio/Guanajuato/11014/mgm11014.pdf>.
- INEGI. 2010c. Compendio de información geográfica municipal 2010 Valle de Santiago Guanajuato. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/compendio/Guanajuato/11035/mgm11035.pdf>.
- INEGI. 2020. México en Cifras. Censo de Población y Vivienda (CPV) 2020. <https://www.inegi.org.mx>.
- Jaworski CC, Krzywoszynska A, Leake JR y Dicks LV. 2024. Sustainable soil management in the United Kingdom: A survey of current practices and how they relate to the principles of regenerative agriculture. *Soil Use and Management*, 40(1). 1–20. <https://doi.org/10.1111/sum.12908>.
- Jordon MW, Willis KJ, Bürkner PC, Haddaway NR, Smith P y Petrokofsky G. 2022. Temperate Regenerative Agriculture practices increase soil carbon but not crop yield—a meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 17(9). 16–19. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8609>.
- Kersey JH, Shekhar S, Dowell L, Krzic M, Smukler SM. 2024. 25-years of stewardship programs enhance regenerative outcomes in river delta soils of southwestern British Columbia, Canada. *Geoderma*, 443. 116808. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116808>.
- Khangura R, Ferris D, Wagg C, Bowyer J. 2023. Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. *Sustainability*, 15(3). 1–41. <https://doi.org/10.3390/su15032338>.
- LaCanne CE, Lundgren JG. 2018. Regenerative agriculture: Merging farming and natural resource conservation profitably. *PeerJ*, 6(2). 1–12. <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>.
- Manshanden M, Jellema A, Sukkel WHGJ, Hennen WHGJ, Jongeneel R, Brazao A, de Miguel Á, de Vos L, Geerling-Eiff F. 2023. Regenerative agriculture in Europe: an overview paper on the state of knowledge and innovation in Europe. Wageningen: Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/629483>.
- Miller-Klugesherz JA, Sanderson MR. 2023. Good for the soil, but good for the farmer? Addiction and recovery in transitions to regenerative agriculture. *Journal of Rural Studies*, 103. 103123. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103123>.
- Mogaka H. 2023. Effects of Regenerative Agriculture Technologies on the Productivity of Cowpea in the Drylands of Embu County, Kenya. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 11(1). 190–198. [https://doi.org/10.18006/2023.11\(1\).190.198](https://doi.org/10.18006/2023.11(1).190.198).
- Montgomery DR, Biklé A, Archuleta R, Brown P, Jordan J. 2022. Soil health and nutrient density: preliminary comparison of regenerative and conventional farming. *PeerJ*, 10. 1–20. <https://doi.org/10.7717/peerj.12848>.
- Ntawuhiganayo EB, Nijman-Ross E, Geme T, Negesa D, Nahimana S. 2023. Assessing the adoption of regenerative agricultural practices in Eastern Africa. *Frontiers in Sustainability*, 4. 10. <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1105846>.
- O'Donoghue T, Minasny B, McBratney A. 2022. Regenerative Agriculture and Its Potential to Improve Farmscape Function. *Sustainability (Switzerland)*, 14(10). 5815. <https://doi.org/10.3390/su14105815>.
- Pérez L. 2021. Agricultura regenerativa: Aliada para un futuro sostenible. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 47(2). 155–158. [https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/10164/RIA\\_VOLUMEN47\\_n2\\_p.155-158.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/10164/RIA_VOLUMEN47_n2_p.155-158.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

- Rehberger E, West PC, Spillane C, McKeown PC. 2023. What climate and environmental benefits of regenerative agriculture practices? an evidence review. *Environmental Research Communications*, 5: 052001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/acd6dc>.
- Sands B, Machado MR, White A, Zent E, Gould R. 2023. Moving towards an anti-colonial definition for regenerative agriculture. *Agriculture and Human Values*, 40. 1697–1716. <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10429-3>.
- Schreefel L, Schulte RPO, de Boer IJM, Schrijver AP, van Zanten HHE. 2020. Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security*, 26. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100404>.
- Schreefel L, van Zanten HHE, Groot JCJ, Timler CJ, Zwetsloot MJ, Pas Schrijver A, Creamer RE, Schulte RPO, de Boer IJM. 2022. Tailor-made solutions for regenerative agriculture in the Netherlands. *Agricultural Systems*, 203. 103518. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103518>.
- SEMARNAT. 2019. Suelos. Informe de la situación del medio ambiente en México 2018. México. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap3\\_Suelos.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap3_Suelos.pdf). pp. 175–217.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2024. Producción Agrícola. <https://www.gob.mx/siap>.
- Van Eerd LL, Chahal I, Peng Y, Awrey JC. 2023. Influence of cover crops at the four spheres: A review of ecosystem services, potential barriers, and future directions for North America. *Science of the Total Environment*, 858. 159990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159990>.
- Voisin R, Horwitz P, Godrich S, Sambell R, Cullerton K, Devine A. 2024. What goes in and what comes out: a scoping review of regenerative agricultural practices. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 48(1). 124–158. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2270441>.