



EN

Limitations to productive change in sugarcane among beneficiaries of Producción para el Bienestar

ES

Limitantes para el cambio productivo en caña de azúcar en beneficiarios de Producción para el Bienestar

✉ [Julio Vilaboa-Arróniz^{1*}](#); [Jorge Aguilar-Ávila¹](#); [Enrique Genaro Martínez-González¹](#); [Arturo Heribia-Virués²](#)

¹Universidad Autónoma Chapingo, Centro Académico y de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), km 38.5 carretera federal México-Texcoco, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230, México.

²Tecnológico Nacional de México Campus Cosamaloapan. Av. Tecnológico S/N, Col. Los Ángeles, Cosamaloapan, Veracruz, C.P. 95400, México.

***Corresponding author:**
julio.vilaboa@ciestaam.edu.mx
Received: November 2, 2025
Accepted: May 9, 2026
Published online:
September 25, 2026

Abstract

The Production for Well-Being Program (Programa Producción para el Bienestar, PPB) contributes to food self-sufficiency through direct economic support to producers. This case study was conducted in the municipality of Cosamaloapan, Veracruz, Mexico. The objective of the study was to analyze the limitations to changing the sugarcane production model based on producers' knowledge, level of herbicide use, and technology adoption trajectory. Structured surveys were administered to 73 producers selected through stratified sampling by land area; socioeconomic, technical, and perceptual variables were analyzed. A widespread dependence on herbicides was identified, with 24 commercial brands used across all strata and recurring combinations of active ingredients (glyphosate, 2,4-D, and diuron), indicating homogeneous technological patterns. The sugarcane production model relies on homogeneous technological patterns that hinder the incorporation of alternatives, even in contexts of pressure for change. The producers' position on Rogers' innovation adoption curve reflects stable trajectories that limit production change, associated with technological dependence and barriers in information, alternatives and market.

Keywords: Likert scale, innovation curve, herbicides, weeds.

Resumen

El Programa Producción para el Bienestar (PPB) contribuye a la autosuficiencia alimentaria a través de apoyos económicos directos a los productores. Este estudio de caso se realizó en el municipio de Cosamaloapan, Veracruz, México. El objetivo del estudio fue analizar las limitantes para el cambio en el modelo productivo de la caña de azúcar a partir del conocimiento, nivel de uso de herbicidas y la trayectoria de adopción tecnológica de los productores. Se aplicaron encuestas estructuradas a 73 productores seleccionados mediante muestreo estratificado por superficie; se analizaron variables socioeconómicas, técnicas y de percepción. Se identificó una dependencia generalizada a los herbicidas, con 24 marcas comerciales en todos los estratos y combinaciones recurrentes de ingredientes activos (glifosato, 2,4-D y diurón), lo que evidencia patrones tecnológicos homogéneos. El modelo productivo cañero se sostiene en patrones tecnológicos homogéneos que dificultan la incorporación de alternativas, aun en contextos de presión para el cambio. La posición de los productores en la curva de adopción de Rogers refleja trayectorias estables que limitan el cambio productivo, asociadas a dependencia tecnológica y barreras en información, alternativas y mercado.

Palabras clave: Likert, curva de innovación, herbicidas, malezas.

Please cite this article as follows (APA 7): Vilaboa-Arróniz, J., Aguilar-Ávila, J., Martínez-González, E. G., & Heribia-Virués, A. (2026). Limitations to productive change in sugarcane among beneficiaries of Producción para el Bienestar. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 6, e25005. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.11.005>

Introduction

Herbicides have become a central technology in tropical agricultural systems due to their effectiveness in weed control and labor cost reduction. However, their widespread use has contributed to the perpetuation of production models dependent on these products, with widely documented environmental, economic, and social implications. In this context, the shift toward alternative production systems faces limitations that go beyond input substitution and are related to the structure of the dominant production model.

A significant portion of the literature on herbicides has focused on evaluating their effects at the level of active ingredients, effectiveness, toxicity, and risks to health and environment (International Agency for Research on Cancer [IARC], 2015; Mesnage & Antoniou, 2017; Silva et al., 2019); and, conversely, the impacts of the agricultural model based on the use of chemical inputs have been documented and questioned from a socio-environmental perspective (Levidow et al., 2014). However, less attention has been paid to how these technologies are integrated into production practices and to the reasons behind their persistence in agricultural systems. This approach limits the understanding of the factors that drive production changes, especially in contexts where management decisions are guided by criteria of efficiency, accumulated experience, and the availability of market options.

Technological change in agriculture can be understood through the diffusion of innovations theory, in which producers follow adoption trajectories that tend to stabilize over time (Rogers, 2003). From this perspective, the incorporation of new practices is not an automatic process, but rather conditioned by technical, economic, and institutional factors that influence decision-making (Wezel et al., 2020). In this sense, productive change cannot be understood solely as the substitution of inputs, but as a process influenced by technological trajectories and structural limitations that shape agricultural practices (Mier y Terán et al., 2022).

In Mexico, sugarcane is one of the most important agro-industrial crops due to its contribution to food production, job creation, and territorial integration, covering an area of over 800,000 hectares and with more than 50 sugar mills in operation (National Committee for the Sustainable Development of Sugarcane [CONADESUCA], 2023; Ministry of Agriculture and Rural Development [SADER], 2024a). The state of Veracruz accounts for the largest area under cultivation and the highest production nationwide, positioning itself as the leading center for the sector (SADER, 2024b, c). In this context, the Cuenca Baja del Papaloapan stands out as

Introducción

Los herbicidas se han consolidado como una tecnología central en los sistemas agrícolas tropicales debido a su eficacia en el control de malezas y la reducción de costos en mano de obra. Sin embargo, su uso generalizado ha contribuido a la reproducción de modelos productivos dependientes de estos productos, con implicaciones ambientales, económicas y sociales ampliamente documentadas. En este contexto, el cambio hacia sistemas productivos alternativos enfrenta limitantes que trascienden la sustitución de insumos y se relacionan con la estructura del modelo de producción dominante.

Una parte importante de la literatura sobre herbicidas se ha centrado en la evaluación de sus efectos a nivel de ingredientes activos, efectividad, toxicidad, riesgos a la salud y al ambiente (International Agency for Research on Cancer [IARC], 2015; Mesnage & Antoniou, 2017; Silva et al., 2019); y, en contraparte, se han documentado y cuestionado los impactos del modelo agrícola basado en el uso de insumos químicos desde una perspectiva socioambiental (Levidow et al., 2014). No obstante, existe menor atención en cómo estas tecnologías se integran en la práctica productiva y en las razones que explican su persistencia en los sistemas agrícolas. Este enfoque limita la comprensión de los factores que condicionan el cambio productivo, especialmente en contextos donde las decisiones de manejo responden a criterios de eficiencia, experiencia acumulada y disponibilidad de opciones en el mercado.

El cambio tecnológico en la agricultura puede entenderse a partir de la teoría de difusión de innovaciones, donde los productores siguen trayectorias de adopción que tienden a estabilizarse en el tiempo (Rogers, 2003). Desde esta perspectiva, la incorporación de nuevas prácticas no es un proceso automático, sino condicionado por factores técnicos, económicos e institucionales que influyen en la toma de decisiones (Wezel et al., 2020). En este sentido, el cambio productivo no puede entenderse únicamente como sustitución de insumos, sino como un proceso influido por trayectorias tecnológicas y limitantes estructurales que configuran las prácticas agrícolas (Mier y Terán et al., 2022).

En México, la caña de azúcar constituye uno de los cultivos agroindustriales más relevantes por su contribución a la producción de alimentos, generación de empleo y articulación territorial, con una superficie superior a 800 mil hectáreas y más de 50 ingenios en operación (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar [CONADESUCA], 2023; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2024a). El estado de Veracruz concentra la mayor superficie y producción nacional, posicionándose como el principal referente del sector

one of the most important sugarcane-growing regions, where the municipality of Cosamaloapan has become a strategic production hub (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2024). The presence of one of the country's most important sugar mills reinforces the configuration of a highly articulated production system, which conditions agricultural practices and technological decisions of producers.

In this context, analyzing the limitations to productive change in sugarcane systems is relevant to understanding the persistence of the conventional model. This study aims to analyze the limitations to change in the sugarcane production model among beneficiaries of the Programa Producción para el Bienestar (SADER, 2023), based on herbicide use and the producers' technological adoption trajectory.

Methodological approach

Location of the study area

The municipality of Cosamaloapan, Veracruz, covers an area of 519 km² (0.7 % of the state's total area). It is located at coordinates 18° 08' and 18° 26' N latitude and 95° 46' and 96° 12' W longitude, at an altitude of 10 meters above sea level. Its average temperature is 25°C, with an average annual rainfall of 1,750 mm. The municipal agricultural area is just over 24,000 ha, with the most important crops being sugarcane (23,000 ha), corn (1,186 ha), and rice (437 ha); It faces three main challenges: high production costs (for inputs and services), poor soil fertility, and an aging farming population (Gobierno del Estado de Veracruz, 2024).

Study design

A quantitative, cross-sectional observational study was conducted to analyze the use of herbicides as a component of the sugarcane production model and, based on this, to identify the limitations for productive change through the analysis of technological patterns and adoption trajectories.

Population and sample

The study population consisted of beneficiaries of the Programa Producción para el Bienestar (PPB) in the municipality of Cosamaloapan, according to the official 2024 registry (Plataforma de Programas para el Bienestar, 2024). The sample size was 73 producers, determined through stratified sampling based on the cultivated area reported in the program's official registry (3,271.02 hectares), with a 90 % confidence level and a 6 % precision; this was due to the exploratory nature of the study, the producers' geographical dispersion, and

(SADER, 2024b, c). En este contexto, la Cuenca Baja del Papaloapan destaca como una de las regiones cañeras más importantes, donde el municipio de Cosamaloapan se consolida como un nodo productivo estratégico (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2024). La presencia de uno de los ingenios azucareros más importantes del país refuerza la configuración de un sistema productivo altamente articulado, que condiciona las prácticas agrícolas y las decisiones tecnológicas de los productores.

En este contexto, analizar las limitantes para el cambio productivo en sistemas cañeros resulta relevante para comprender la persistencia del modelo convencional. El presente estudio tiene como objetivo analizar las limitantes para el cambio en el modelo productivo de la caña de azúcar en beneficiarios del Programa Producción para el Bienestar (SADER, 2023), a partir del uso de herbicidas y la trayectoria de adopción tecnológica de los productores.

Enfoque metodológico

Ubicación de la zona de estudio

El municipio de Cosamaloapan, Veracruz tiene una extensión territorial de 519 km² (0.7 % de la superficie estatal). Se localiza en las coordenadas 18° 08' y 18° y 26' LN y 95° 46' y 96° 12' LO con una altitud de 10 m s.n.m.; su temperatura promedio es de 25 °C con una precipitación media anual de 1,750 mm. La superficie agrícola municipal es de poco más de 24,000 ha siendo los más importantes la caña de azúcar (23,000 ha), el maíz (1,186 ha) y el arroz (437 ha); presenta tres problemáticas que son: los altos costos producción (por insumo y servicios), pobreza en la fertilidad de sus suelos y productores de edad avanzada (Gobierno del Estado de Veracruz, 2024).

Diseño del estudio

Se realizó un estudio observacional transversal con enfoque cuantitativo para analizar el uso de herbicidas como componente del modelo productivo cañero y, a partir de ello, identificar las limitantes para el cambio productivo mediante el análisis de patrones tecnológicos y trayectorias de adopción.

Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por beneficiarios del Programa Producción para el Bienestar (PPB) en el municipio de Cosamaloapan según el padrón oficial 2024 (Plataforma de Programas para el Bienestar, 2024). El tamaño de muestra fue de 73 productores, determinado mediante muestreo estratificado con base en la superficie cultivada reportada en el padrón oficial del programa (3,271.02 hectáreas), con un nivel de confianza del 90 % y

the operational conditions of the field data collection. These parameters made it possible to obtain a viable sample to identify technological patterns and limitations to productive change among PPB beneficiaries in the municipality of Cosamaloapan.

Four productive strata were defined: E I (0.01–1 ha), E II (1.01–5 ha), E III (5.01–10 ha) and E IV (10.01–20 ha) (Table 1). Producers were selected at random within each stratum. Data were collected between May and August 2025 in 17 localities of the municipality.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot S^2p}{N \cdot (\mu \cdot \delta)^2 + (Z^2 S^2p)} \tag{1}$$

$$S^2p = \sum_{i=j}^k P_i S_i^2 \tag{2}$$

where:
n = Sample size
N = Population size
Z = Standard normal distribution for a 90 % confidence level =1.64
S2*p = Weighted population variance
μ= Weighted mean of the variable of interest
δ = Precision

And the variance by strata:

k = Total number of strata
S_i^2 = Variance of the i-th stratum
P_i = Percentage of the stratum i-th in the population

When determining the strata, a random selection of producers was made within each stratum. The sample consisted of beneficiaries of the Programa Producción

una precisión del 6 %; esto debido al carácter exploratorio del estudio, la dispersión territorial de los productores y las condiciones operativas del levantamiento en campo. Estos parámetros permitieron obtener una muestra viable para identificar patrones tecnológicos y limitantes del cambio productivo entre los beneficiarios del PPB en el municipio de Cosamaloapan.

Se definieron cuatro estratos productivos: E I (0.01–1 ha), E II (1.01–5 ha), E III (5.01–10 ha) y E IV (10.01–20 ha) (Cuadro 1). La selección de los productores se realizó de manera aleatoria dentro de cada estrato. La información se recabó entre mayo y agosto de 2025 en 17 localidades del municipio.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot S^2p}{N \cdot (\mu \cdot \delta)^2 + (Z^2 S^2p)} \tag{1}$$

$$S^2p = \sum_{i=j}^k P_i S_i^2 \tag{2}$$

donde:
n = Tamaño de la muestra
N = Tamaño de la población
Z = Valor de la distribución normal estándar para una confiabilidad del 90 % =1.64
S2*p = Varianza Ponderada de la población
μ=Media ponderada de la variable de interés
δ = Precisión

Y la varianza por estratos:

k = Total de estratos
S_i^2 = Varianza del i-ésimo estrato
P_i = Participación porcentual del estrato i-ésimo en la población

Table 1. Calculation of sample size stratified by area (n=73) with a 90 % confidence level and 6 % precision in the Programa Producción para el Bienestar in the municipality of Cosamaloapan, Veracruz for the year 2024.

Cuadro 1. Cálculo del tamaño de muestra estratificado por superficie (n=73) con una confiabilidad del 90 % y una precisión del 6 % en el Programa Producción para el Bienestar en el municipio de Cosamaloapan, Veracruz para el año 2024.

STRATA / ESTRATOS	AVERAGE / MEDIA	N	VARIANCE / VARIANZA	PROPORTION / PROPORCIÓN	WEIGHTED VAR / VAR PONDERADA	n
E I	0.48	77.22	0.035	0.024	0.0008	2
E II	3.3	1565.76	1.36	0.479	0.6510	35
E III	7.37	1135.76	2.07	0.347	0.7187	25
E IV	13.67	492.28	8.43	0.150	1.2687	11
TOTAL	6.205	3271.02		1.00	2.6393	73

E I: 0.01 to 1 hectare; E II: 1.1 to 5 hectares; E III: 5.1 to 10 hectares; E IV: 10.1 to 20 hectares /

E I: 0.01 a 1 hectárea; E II: 1.1 a 5 hectáreas; E III: 5.1 a 10 hectáreas; E IV: 10.1 a 20 hectáreas

para el Bienestar located in different localities within the municipality of Cosamaloapan, Veracruz; their geographical distribution reflected the location of the producers within each stratum rather than on a criterion of full coverage per locality. Data collection was supported by the program's operational staff in Distrito de Desarrollo Rural 174 of Ciudad Alemán Veracruz, to which the municipality of Cosamaloapan belongs, who facilitated the identification and location of the beneficiaries. The data were collected between May and August 2025 and systematized in a database for statistical analysis. The producers interviewed belong to the program and have farm plots ranging in size from 0.01 to 20 ha, these are small and medium-scale producers primarily engaged in sugarcane production (97 %) as the dominant crop, and to a lesser extent, corn, reflecting the local productive diversity.

Variables and instrument

A structured questionnaire was used to collect socioeconomic and technological information. Socioeconomic variables included age, educational attainment, land tenure, cultivated area, years of experience in agricultural activity, and participation in support programs.

The technological variables focused on herbicide management, including weed types, control methods, the number and type of active ingredients used, application frequency, dose determination, equipment used, and protective measures during application. These variables made it possible to characterize the herbicide pattern used as a component of the production model. The information was collected from May to August 2025.

Analysis strategy

The information was systematized in an Excel® database and analyzed using descriptive statistics with the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)® to identify management patterns associated with herbicide use among the different production strata. This analysis made it possible to characterize the production model based on recurring practices, such as type of control, application frequency, combinations of active ingredients, and technical decision-making criteria.

Subsequently, the producer strata were positioned on the innovation adoption curve (Rogers, 2003) as an analytical reference for interpreting the technological trajectories of the production system. This approach allowed for the analysis of limitations to change based on the stability of agricultural practices, given that the persistence of herbicide use reflects consolidated technological patterns rather than isolated individual decisions. Additionally, perception variables related

Al determinar los estratos, se realizó una selección aleatoria de productores dentro de cada uno de ellos. La muestra correspondió a beneficiarios del Programa Producción para el Bienestar ubicados en distintas localidades del municipio de Cosamaloapan, Veracruz, cuya distribución territorial respondió a la localización de los productores dentro de cada estrato y no a un criterio de cobertura total por localidad. El levantamiento de información contó con el apoyo del personal operativo del programa en el Distrito de Desarrollo Rural 174 de Ciudad Alemán Veracruz al que pertenece el municipio de Cosamaloapan, quienes facilitaron la identificación y ubicación de los beneficiarios. La información se recabó entre mayo y agosto de 2025 y se sistematizó en una base de datos para su análisis estadístico. Los productores entrevistados pertenecen al programa y se ubican en un rango de superficie de 0.01 a 20 ha, lo que corresponde a pequeños y medianos productores dedicados principalmente a la producción de caña de azúcar (97 %) como cultivo dominante y en menor proporción maíz, lo que refleja la diversidad productiva local.

Variables e instrumento

Se utilizó un cuestionario estructurado para recopilar información de tipo socioeconómico y tecnológico. Las variables socioeconómicas incluyeron edad, escolaridad, tenencia de la tierra, superficie cultivada, antigüedad en la actividad agrícola y participación en programas de apoyo.

Las variables tecnológicas se centraron en el manejo de herbicidas, incluyendo tipo de malezas, métodos de control, número y tipo de ingredientes activos utilizados, frecuencia de aplicación, determinación de dosis, equipo empleado y medidas de protección durante la aplicación. Estas variables permitieron caracterizar el patrón de uso de herbicidas como componente del modelo productivo. La información se recabó de mayo-agosto 2025.

Estrategia de análisis

La información se sistematizó en una base de datos Excel® y se analizó mediante estadística descriptiva con el paquete Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)® para identificar patrones de manejo asociados al uso de herbicidas entre los distintos estratos productivos. Este análisis permitió caracterizar el modelo productivo en función de prácticas recurrentes, como tipo de control, frecuencia de aplicación, combinaciones de ingredientes activos y criterios de decisión técnica. Posteriormente, los estratos de productores se ubicaron en la curva de adopción de innovaciones (Rogers, 2003) como referencia analítica para interpretar las trayectorias tecnológicas del sistema productivo. Este enfoque permitió analizar las limitantes para el cambio a partir de la estabilidad de las

to herbicide use were included, assessed using a five-point Likert scale (1 = strongly disagree; 5 = strongly agree). The questions addressed the importance of herbicide use in the production system, the existence of conditions for their reduction or substitution, and perceptions of safety in its handling. For each variable, averages were calculated by production stratum (EI–E IV), as well as an overall average, in order to identify trends in the conditions that influence the persistence or potential change in herbicide use.

Results

Socioeconomic aspects

In productive stratum I, there were two producers from the towns of Poblado Dos and Paraíso Novillero; their ages were similar (63 and 67 years old), neither had any formal education, and both had recently joined the PPB, one of them also participated in the Senior Citizens Program (Programa de Adultos Mayores, PAM), while the other did not receive support from any other program (Table 2).

In stratum II, comprising 35 beneficiaries, 66 % were men and 34 % were women. In terms of education, 62 % had completed elementary or middle education, 14 % had no formal education, and the remaining were distributed among other levels (24 %). Regarding land tenure, 80 % was ejido land, 17 % was small private property, and 3 % was rented. 69 % of the producers had between 10 and 20 years of experience in agriculture.

In terms of productive activity, 60 % of producers were exclusively engaged in agriculture, primarily the cultivation of sugarcane (86 %) and corn (14 %). The remaining 40 % engaged in off-farm activities; within this group, the main sources of income were pensions (9 %), day labor (8 %), own business (8 %), employment in a company (6 %), self-employment (6 %), and government employment (3 %).

In stratum III, comprising 25 beneficiaries, 64 % were men and 36 % women. Just over half (52 %) had more than 20 years of experience in agricultural activity. The dominant production system was sugarcane (84 %), followed by corn (16 %). Regarding land tenure, 88 % of the land was ejido land and 12 % corresponded to small private properties. The majority (72 %) of the beneficiaries were exclusively engaged in agricultural activity, while the rest supplemented their income with off-farm activities. 68 % participated in at least one additional program and 12 % in more than two (Table 2).

In stratum IV, comprising 11 beneficiaries, producers showed higher levels of education, primarily at the

prácticas agrícolas, considerando que la persistencia del uso de herbicidas refleja patrones tecnológicos consolidados más que decisiones individuales aisladas. Adicionalmente, se incluyeron variables de percepción relacionadas con el uso de herbicidas, evaluadas mediante una escala tipo Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo). Las preguntas abordaron la importancia del uso de herbicidas en el sistema productivo, la existencia de condiciones para su reducción o sustitución y la percepción de seguridad en su manejo. Para cada variable, se calcularon promedios por estrato productivo (E I–E IV), así como un promedio general, con el fin de identificar tendencias en las condiciones que influyen en la persistencia o posible cambio en el uso de herbicidas.

Resultados

Aspectos socioeconómicos

En el estrato productivo I se ubicaron dos productores de las localidades de Poblado Dos y Paraíso Novillero; la edad fue similar entre ambos (63 y 67 años), sin estudios, eran de reciente ingreso al PPB, uno de ellos participó también en el Programa de Adultos Mayores (PAM) y el otro no tenía otro esquema de apoyo (Cuadro 2).

En el estrato II, conformado por 35 beneficiarios, el 66 % eran hombres y 34 % mujeres. En términos de escolaridad, el 62 % contaba con educación básica y media, 14 % no tenían estudios y el resto se distribuyó en otros niveles (24 %). Respecto a la tenencia de la tierra, el 80 % fue régimen ejidal, 17 % a pequeña propiedad y 3 % a renta. El 69 % de los productores tenía entre 10 y 20 años de experiencia en la actividad agrícola.

En cuanto a la actividad productiva, el 60 % de los productores se dedicaba exclusivamente a la agricultura, principalmente al cultivo de caña de azúcar (86 %) y maíz (14 %). El 40 % restante realizaba actividades extra finca; dentro de este grupo, las principales fuentes de ingreso eran pensiones (9 %), trabajo jornalero (8 %), negocio propio (8 %), empleo en empresa (6 %), auto-empleo (6 %) y empleo en gobierno (3 %).

En el estrato III, conformado por 25 beneficiarios, el 64 % eran hombres y 36 % mujeres. Poco más de la mitad (52 %) tenía más de 20 años de experiencia en la actividad agrícola. El sistema productivo dominante era la caña de azúcar (84 %), seguido del maíz (16 %). En cuanto a la tenencia de la tierra, el 88 % de la superficie fue ejidal y el 12 % corresponde a pequeña propiedad. La mayoría (72 %) de los beneficiarios se dedicaban exclusivamente a la actividad agrícola, mientras que el resto complementaba sus ingresos con actividades extra finca. El 68 % participó en al menos un programa adicional y el 12 % en más de dos (Cuadro 2).

Table 2. Socioeconomic characteristics of beneficiaries of the Programa Producción para el Bienestar in the municipality of Cosamaloapan, Veracruz.**Cuadro 2. Características socioeconómicas de los beneficiarios del Programa Producción para el Bienestar del municipio de Cosamaloapan, Veracruz.**

Variables/Strata / Variables/Estratos	EI (n=2)	EII (n=35)	EIII (n=25)	EIV (n=11)
Age (years) / Edad (años)	63±2.8	57±13	64±11	63±11
Schooling (years) / Escolaridad (años)	0	8±4	6±3	7±5
Land tenure / Tenencia de la tierra	1	1,2,3	1,2	1,2,3
Off-farm activities (%) / Actividades extra finca (%)	50	40	28	27
Crop (type) / Cultivo (tipo)	1	1,2	1,2	1,2
Area (ha) / Superficie (ha)	0.1 a 1	1.1 a 5	5.1 a 10	10.1 a 20
Duration in the PPB (years) / Antigüedad en el PPB (años)	2.5±0.7	3.2±1.0	3.5±1.0	3.1±1.0
Participation in other programs (%) / Participación en otros programas (%)	50	74	68	91

Education: formal education. Land tenure: 1: Ejido, 2: smallholding, 3: rented land. Off-farm activities: % of producers engaged in activities outside their production unit. Crop: 1 = sugarcane, 2 = corn. Participation in other programs: Percentage of people participating in other programs. E I: 0.01 to 1 hectare; E II: 1.1 to 5 hectares; E III: 5.1 to 10 hectares; E IV: 10.1 to 20 hectares.

Escolaridad: nivel formal. Tenencia de la tierra: 1: Ejido, 2: pequeña propiedad, 3: renta. Actividades extra finca: % de productores que realizan actividades adicionales a la unidad de producción. Cultivo: 1= caña de azúcar, 2= maíz. Participación en otros programas: Porcentaje de personas que participan en otros programas. E I: 0.01 a 1 hectárea; E II: 1.1 a 5 hectáreas; E III: 5.1 a 10 hectáreas; E IV: 10.1 a 20 hectáreas.

Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración propia.

upper middle education. 55 % of the land was ejido, 36 % small private property, and 9 % rented. 73 % depended exclusively on agricultural activity, and 64 % had more than 20 years of experience. The most important production system was sugarcane (73 %), followed by corn (27 %). In addition to the PPB, 64 % of producers received support from the Fertilizers for Bienestar Program, 18 % from Sembrando Vida, and 9 % from other programs (Table 2).

Technological aspects

A total of 24 herbicides brands were identified among the four strata (Table 3). In E I, the following were identified: Herbipol, Tritor, and Cañex; for E II (18): Amina, Caña D, Caña Plus, Cañex, Dardo, Diuron, Dragopax, Espartaco, Ester 40, Faena, Gesapax, Glyphosate, Herbipol, Hierbamina, Rey Quemante, Tritor, Velcron 60, Velfosate; In E III (12): Ametrine, Amina, Cañex, Diuron, Gesapax, Glyphosate, Herbipol, Kator 80, Paraquat, Tritor, Velcron, Velfosate; and for E IV (11): Amina, Cañex,

En el estrato IV, conformado por 11 beneficiarios, los productores presentaron mayores niveles de escolaridad, concentrándose principalmente en educación media superior. El 55 % de la superficie fue ejidal, 36 % pequeña propiedad y 9 % en renta. El 73 % dependía exclusivamente de la actividad agrícola y el 64 % tenía más de 20 años de experiencia. El sistema productivo más importante fue la caña de azúcar (73 %) y en menor medida el maíz (27 %). Además del PPB, el 64 % de los productores recibieron apoyos del Programa Fertilizantes para el Bienestar, el 18 % de Sembrando Vida y el 9 % de otros programas (Cuadro 2).

Aspectos tecnológicos

Entre los cuatro estratos se identificaron 24 marcas de herbicidas (Cuadro 3). En E I se identificaron Herbipol, Tritor, Cañex; para E II (18): Amina, Caña D, Caña Plus, Cañex, Dardo, Diurón, Dragopax, Espartaco, Ester 40, Faena, Gesapax, Glifosato, Herbipol, Hierbamina, Rey Quemante, Tritor, Velcrón 60, Velfosato; En E III (12): Ametrina, Amina,

Table 3. Technological characteristics of management on the properties of the beneficiaries of the Programa Producción para el Bienestar in the municipality of Cosamaloapan, Veracruz.

Cuadro 3. Características tecnológicas de manejo en predios de los beneficiarios del Programa Producción para el Bienestar en el municipio de Cosamaloapan, Veracruz.

Variables	E I (n=2)	E II (n=35)	E III (n=25)	E IV (n=11)
Main weeds type / Principal tipo de maleza	Grass and broadleaf / Zacate y hoja ancha	Grass and broadleaf / Zacate y hoja ancha	Grass and vines / Zacate y bejucos	Grasses, broadleaf and shrubs / Zacate, hoja ancha y arbustivas
Control method / Método de control	Chemical / Químico	Chemical / Manual- chemical / Químico / Manual-químico	Chemical / Manual- chemical / Mechanical- chemical / Químico / Manual-químico / Mecánico-químico	Chemical / Manual- chemical / Químico / Manual- químico
Number of herbicide brands used / Número de marcas de herbicidas utilizados	3	18	12	10
Number of active ingredients / Número de ingredientes activos	1	8	6	5
Active ingredients / Ingredientes activos	Glyphosate / Glifosato	2,4-D, Ametrine + Atrazine, Diuron, Fluazifop-p-butyl, Glyphosate, Glufosinate, Paraquat / 2,4-D, Ametrina + Atrazina, Diurón, Fluazifop- p-butyl, Glifosato, Glufosinato, Paraquat	Ametrine, Ametrine + Atrazine, Diuron, Glyphosate, Glufosinate, Paraquat / Ametrina, Ametrina + Atrazina, Diurón, Glifosato, Glufosinato, Paraquat	2,4-D, Ametrine + Atrazine, Glyphosate, Glufosinate, Paraquat / 2,4-D, Ametrina + Atrazina, Glifosato, Glufosinato, Paraquat
Average years of herbicide use / Años promedio de uso de herbicidas	16	19	20	25
Main reason for use / Principal razón de uso	Rapid and effective control / Control rápido y efectivo	Rapid control, time saving / Control rápido, ahorro de tiempo	Rapid control, time saving / Control rápido, ahorro de tiempo	Rapid control, time saving / Control rápido, ahorro de tiempo
Type of equipment used / Tipo de equipo utilizado	Manual spray pump / Bomba manual de aspersión	Manual pump / Motor pump / Asperjet / Bomba manual / Bomba de motor / Asperjet	Manual pump / Asperjet / Bomba manual / Asperjet	Manual pump / Asperjet / Bomba manual / Asperjet
Main reason for determining the dose / Principal razón para determinar la dosis	Own experience / Experiencia propia	Personal experience/ technical recommendation / Experiencia propia / recomendación técnica	Own experience / technical recommendation / Experiencia propia / recomendación técnica	Own experience/ technical recommendation / Experiencia propia / recomendación técnica
Crop stage at which it is applied / Etapas del cultivo donde se aplica	Development / Desarrollo	Preparation, emergence and development / Preparación, nacimiento y desarrollo	Development / Desarrollo	Preparation and development / Preparación y desarrollo
Clothing and protection / Indumentaria y protección	None / Ninguna	Basic protection (hat, work clothes) / Protección rústica (sombrero, ropa de trabajo)	Gloves, mask and basic protection / Guantes, máscara y protección rústica	Gloves, mask and basic protection / Guantes, máscara y protección rústica

E I: 0.01 to 1 hectare; E II: 1.1 to 5 hectares; E III: 5.1 to 10 hectares; E IV: 10.1 to 20 hectares.

E I: 0.01 a 1 hectárea; E II: 1.1 a 5 hectáreas; E III: 5.1 a 10 hectáreas; E IV: 10.1 a 20 hectáreas.

Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración propia.

Dragopax, Gesapax, Herbipol, Kator 80, Lafam, Nantli, Tritor, Velfosato. It is worth noting that in all four strata, producers were unaware of the brand names of the products they were applying: EI (50 %), EII (14 %), EIII (6 %), EIV (9 %).

In the smallest stratum (EI), herbicide management was characterized by a long history of use, with technical decisions based primarily on experience and without the use of protective equipment. In E II, chemical control predominated, in some cases combined with manual and mechanical practices. Herbicide use was mainly driven by its effectiveness in weed control and by time and labor savings. Dosage determination was based on the producer's experience and, to a lesser extent, on technical recommendations, while the use of protective equipment was limited and inconsistent. In E III, similar patterns persisted, with a predominance of chemical control and the complementary use of other methods. The decision to use herbicides was associated with efficiency criteria, and dosage determination was based primarily on experience. Although a slight diversification in the use of protective equipment was observed, its use remained limited and not widespread. Finally, in E IV, producers showed greater experience in herbicide use, consolidating practices based on rapid control and operational efficiency. Dose determination depended primarily on experience, and the use of protective equipment remained limited, replicating patterns observed in the other strata.

Perception and willingness to change

In the four strata evaluated, a high dependence on herbicide use was identified; however, this dependence was not homogeneous, with variations observed in the intensity of use and in management practices among the different producer groups. The persistence of these practices was associated with limitations related to the availability of information, access to alternatives, and market conditions (Table 4).

The results show that there are limitations associated with the availability of information and access to alternatives for reducing herbicide use across all strata. A significant proportion of producers reported not having received information about different options, which restricts the adoption of changes in production management. Although some producers acknowledged negative effects on human health and the environment, these did not translate into substantial modifications to agricultural practices. Furthermore, a homogeneous trend was observed across strata, suggesting the presence of a consolidated conventional production model. In this context, the stability of practices can

Cañex, Diurón, Gesapax, Glifosato, Herbipol, Kator 80, Paraquat, Tritor, Velcrón, Velfosato; y para E IV (11): Amina, Cañex, Dragopax, Gesapax, Herbipol, Kator 80, Lafam, Nantli, Tritor, Velfosato. Cabe destacar que en los cuatro estratos se encontraron productores que desconocían las marcas de los productos que estaban aplicando EI (50 %), EII (14 %), EIII (6 %), EIV (9 %).

En el estrato más pequeño (E I), el manejo de herbicidas se caracterizó por una trayectoria prolongada de uso, con decisiones técnicas basadas principalmente en la experiencia y sin uso de equipo de protección. En el E II, se observó una predominancia del control químico, en algunos casos combinado con prácticas manuales y mecánicas. El uso de herbicidas respondió principalmente a su eficacia en el control de malezas y al ahorro de tiempo y mano de obra. La determinación de la dosis se basó en la experiencia del productor y, en menor medida, en recomendaciones técnicas, mientras que el uso de equipo de protección fue limitado y heterogéneo. En el E III, se mantuvieron patrones similares, con predominio del control químico y uso complementario de otros métodos. La decisión de uso estuvo asociada a criterios de eficiencia, y la determinación de dosis se sustentó principalmente en la experiencia. Aunque se observó una ligera diversificación en el uso de equipo de protección, este continuó siendo parcial y no generalizado. Finalmente, en el E IV, los productores presentaron mayor antigüedad en el uso de herbicidas, consolidando prácticas basadas en el control rápido y la eficiencia operativa. La determinación de dosis dependió principalmente de la experiencia, y el uso de protección continuó siendo limitado, replicando patrones observados en los demás estratos.

Percepción y disposición al cambio

En los cuatro estratos evaluados se identificó una alta dependencia al uso de herbicidas; sin embargo, esta no se presentó de manera homogénea, observándose variaciones en la intensidad de uso y en las prácticas de manejo entre los distintos grupos de productores. La persistencia de estas prácticas se asoció a limitantes relacionadas con la disponibilidad de información, el acceso a alternativas y las condiciones del mercado (Cuadro 4).

Los resultados muestran que existen limitantes asociadas a la disponibilidad de información y al acceso a alternativas para la reducción del uso de herbicidas en todos los estratos. Una proporción importante de productores señaló no haber recibido información sobre opciones diferentes, lo que restringe la incorporación de cambios en el manejo productivo. A pesar de que algunos productores reconocieron efectos negativos en la salud

Table 4. Conditions for the change in herbicides use among beneficiaries of the Programa Producción para el Bienestar in the municipality of Cosamaloapan, Veracruz.
Cuadro 4. Condiciones para el cambio en el uso de herbicidas en beneficiarios del Programa Producción para el Bienestar en el municipio de Cosamaloapan, Veracruz.

Question	EI	EII	EIII	EIV	Overall average / Promedio general
The use of herbicides is essential for weed control in my crops / El uso de herbicidas el control de malezas en mis cultivos	3.50	4.49	4.76	4.91	4.42
I am willing to reduce and/or replace the use of herbicides if viable and feasible alternatives exist / Estoy dispuesto a reducir y/o sustituir el uso de herbicidas si existieran alternativas viables y factibles	4.00	4.34	4.60	4.45	4.35
I believe that the herbicides are safe if used in accordance with technical recommendations / Considero que el uso de herbicidas es seguro si se usan de acuerdo con las recomendaciones técnicas	4.00	4.29	4.16	4.55	4.25

E I: 0.01 to 1 hectare; E II: 1.1 to 5 hectares; E III: 5.1 to 10 hectares; E IV: 10.1 to 20 hectares Note: Average values per stratum on a1 to 5 Likert scale (1 = totally disagree; 5 = totally agree).

E I: 0.01 a 1 hectárea; E II: 1.1 a 5 hectáreas; E III: 5.1 a 10 hectáreas; E IV: 10.1 a 20 hectáreas Nota: Valores promedio por estrato en escala Likert de 1 a 5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo).

Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración propia.

be interpreted as a result of established technological trajectories, rather than isolated individual decisions.

Based on the patterns identified in herbicide use, the producer strata were positioned on the innovation adoption curve as an analytical framework for interpreting their technological trajectories (Figure1).

Discussion

The predominant production model among beneficiaries of the Programa Producción para el Bienestar is characterized by the intensive and prolonged use of herbicides, with usage trajectories ranging from 16 to 25 years. This pattern reflects the consolidation of a conventional agricultural system, where chemical control is the dominant practice for weed management, primarily due to its effectiveness and the reduction in labor time. The persistence of these practices coincides with what has been documented in the literature regarding the negative effects associated with the intensive use of agrochemicals (Arias-Estévez et al., 2008; Bailey, 2014; Altieri & Nicholls, 2012, 2020; Silva et al., 2019).

In this context, the continued use of herbicides is not solely due to individual decisions, but rather to the

humana y el medio ambiente, estos no se tradujeron en modificaciones sustantivas en las prácticas agrícolas. Asimismo, se observó una tendencia homogénea entre estratos, lo que sugiere la presencia de un modelo productivo convencional consolidado. En este contexto, la estabilidad en las prácticas puede interpretarse como resultado de trayectorias tecnológicas establecidas, más que de decisiones individuales aisladas.

Con base en los patrones identificados en el uso de herbicidas, los estratos de productores se ubicaron en la curva de adopción de innovaciones como referencia analítica para interpretar sus trayectorias tecnológicas (Figura 1).

Discusión

El modelo productivo predominante en los beneficiarios del Programa Producción para el Bienestar se caracteriza por el uso intensivo y prolongado de herbicidas, con trayectorias de uso que oscilan entre 16 y 25 años. Este patrón refleja la consolidación de un sistema agrícola convencional, donde el control químico constituye la práctica dominante para el manejo de malezas principalmente por su eficacia y la reducción en tiempo de las labores. La persistencia de estas prácticas coincide con

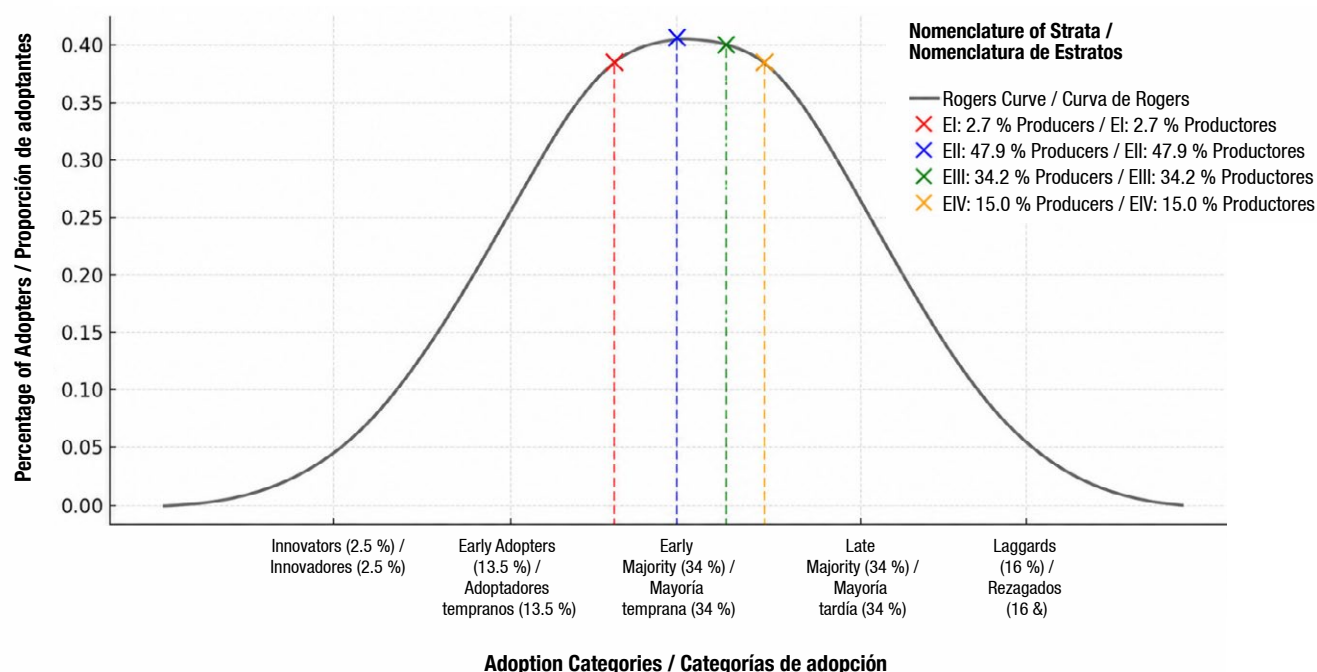


Figure 1. Location of beneficiary strata of the Programa de Producción para el Bienestar of the Municipality of Cosamaloapan, Veracruz on the Rogers scale (2003).

Figura 1. Ubicación de estratos de beneficiarios del Programa de Producción para el Bienestar del Municipio de Cosamaloapan, Veracruz en la escala de Rogers (2003).

Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración propia.

structural configuration of the production system. No significant differences were observed among strata in variables such as age or education level; however, as the cultivated area increased, producers showed less income diversification and greater dependence on government support. These factors, along with age and education level, may limit the adoption of changes in production practices, as noted by Wezel et al. (2020).

One of the study's main findings was the presence of structural limitations that hinder productive change. First, access to and availability of information are critical factors, since a significant proportion of farmers have not received information about alternatives to the use of herbicides (Food and Agriculture Organization [FAO], 2021; Procuraduría Agraria, 2024; Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías [CONAHCYT], 2024). The literature has indicated that access to information influences producers' ability to make more efficient decisions and adapt to new production conditions (Aker, 2011; World Bank, 2011; International Panel of Experts on Sustainable Food Systems [IPES-Food], 2016; FAO, 2017). Second, the availability of alternatives in the market constitutes another significant limitation. Although there are technological developments aimed at reducing her-

lo documentado en la literatura respecto a los efectos negativos asociados al uso intensivo de agroquímicos (Arias-Estévez et al., 2008; Bailey, 2014; Altieri & Nicholls, 2012, 2020; Silva et al., 2019).

En este contexto, la persistencia del uso de herbicidas no responde únicamente a decisiones individuales, sino a la configuración estructural del sistema productivo. No se observan diferencias relevantes entre estratos en variables como edad o nivel de escolaridad; sin embargo, al incrementarse la superficie, los productores muestran menor diversificación de ingresos y mayor dependencia de apoyos gubernamentales. Estos factores, junto con la edad y el nivel educativo, pueden limitar la incorporación de cambios en las prácticas productivas, como señalan Wezel et al. (2020).

Uno de los principales hallazgos del estudio fue la presencia de limitantes estructurales que condicionan el cambio productivo. En primer lugar, el acceso y la disponibilidad de información representan un factor crítico, ya que una proporción importante de productores no ha recibido información sobre alternativas al uso de herbicidas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021;

bicide use, these are not widely available or accessible to producers, which restricts their adoption.

Additionally, market conditions and the institutional environment influence the persistence of the production model. The operational effectiveness of herbicides and their immediate availability create incentives that favor their use over other alternatives. In this sense, government regulation (Gobierno de México, 2025) can function as a mechanism for change by modifying the conditions under which producers operate. However, evidence suggests that regulatory measures have been limited in scope, which reduces their capacity to bring about substantive transformations in the production system (CONAHCYT, 2023; Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina [RAP-AL], 2023; Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados [CIBIOGEM], 2024; Red de Acción Sobre Plaguicidas y Alternativas en México [RAPAM], 2025).

Taken together, the results show that change in the production model does not depend exclusively on the willingness of producers, but rather on the interaction between technical, economic, and institutional factors. The homogeneity observed in management practices across different strata suggests the existence of stable technological trajectories, which limits the incorporation of alternatives and reinforces the persistence of the conventional model in the sugarcane system.

Conclusions

The Programa Producción para el Bienestar in the municipality of Cosamaloapan, Veracruz, is part of a conventional production model characterized by dependence on herbicide use and by stable technological trajectories in all producer strata.

The main limitations to productive change are associated with access to and availability of information on alternatives, as well as market restrictions and technical conditions that hinder the substitution of herbicides. In this context, government regulation, along with the availability of alternative technologies with comparable efficacy, cost, and accessibility, is a key element for modifying the production system. This process also requires economic incentives, technical training, and financing mechanisms designed to facilitate the adoption of new practices without compromising the productive viability of producers.

Acknowledgments

To Distrito de Desarrollo Rural 174 of Ciudad Alemán, Veracruz, for the support provided in conducting this

Procuraduría Agraria, 2024; Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías [CONAHCYT], 2024). La literatura ha señalado que el acceso a la información influye en la capacidad de los productores para tomar decisiones más eficientes y adaptarse a nuevas condiciones productivas (Aker, 2011; World Bank, 2011; Panel Internacional de Expertos en Sistemas Alimentarios Sostenibles [IPES-Food], 2016; FAO, 2017). En segundo lugar, la disponibilidad de alternativas en el mercado constituye otra limitante relevante. Aunque existen desarrollos tecnológicos orientados a la reducción del uso de herbicidas, estos no se encuentran ampliamente disponibles ni accesibles para los productores, lo que restringe su adopción.

Adicionalmente, las condiciones del mercado y el entorno institucional influyen en la persistencia del modelo productivo. La eficacia operativa de los herbicidas y su disponibilidad inmediata generan incentivos que favorecen su uso frente a otras alternativas. En este sentido, la regulación gubernamental (Gobierno de México, 2025) puede funcionar como un mecanismo de cambio al modificar las condiciones bajo las cuales operan los productores. Sin embargo, la evidencia sugiere que las medidas regulatorias han sido limitadas en su alcance, lo que reduce su capacidad para incidir en transformaciones sustantivas del sistema productivo (CONAHCYT, 2023; Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina [RAP-AL], 2023; Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados [CIBIOGEM], 2024; Red de Acción Sobre Plaguicidas y Alternativas en México [RAPAM], 2025).

En conjunto, los resultados muestran que el cambio en el modelo productivo no depende exclusivamente de la voluntad de los productores, sino de la interacción entre factores técnicos, económicos e institucionales. La homogeneidad observada en las prácticas de manejo entre estratos sugiere la existencia de trayectorias tecnológicas estables, lo que limita la incorporación de alternativas y refuerza la permanencia del modelo convencional en el sistema cañero.

Conclusiones

El Programa Producción para el Bienestar en el municipio de Cosamaloapan, Veracruz, se inserta en un modelo productivo convencional caracterizado por la dependencia al uso de herbicidas y por trayectorias tecnológicas estables en todos los estratos de productores.

Las principales limitantes para el cambio productivo se asocian al acceso y disponibilidad de información sobre alternativas, así como a restricciones de mercado y condiciones técnicas que dificultan la sustitución de herbicidas. En este contexto, la regulación guber-

research. We also thank the producers participating in the Programa Producción para el Bienestar for their participation in the study.

Funding

This work was funded by the Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) through the Postdoctoral Fellowships in Mexico program (2025–2027).

End of English version

References / Referencias

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). *Agroecología: ciencia y política para una transición hacia sistemas alimentarios sustentables*. Icaria Editorial.
- Aker, J. C. (2011). Dial “A” for agriculture: A review of information and communication technologies for agricultural extension in developing countries. *Agricultural Economics*, 42(6), 631–647. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2011.00545.x>
- Bailey, K. L. (2014). *The bioherbicide approach to weed control using plant pathogens*. En D. Pimentel & R. Peshin (Eds.), *Integrated pest management: Pesticide problems* (pp. 245–266). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7796-5_10
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados [CIBIOGEM]. (2024). Presencia de plaguicidas en el ambiente. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. <https://cibiogem.secihti.mx/sistema-nacional-de-informacion/documentos-y-actividades-en-bioseguridad/presencia-de-plaguicidas-en-el-ambiente/>
- Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar [CONADESUCA]. (2023). Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar en México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conadesuca>
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías [CONAHCYT] & Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM). (2023). Argumentos de base científica y avances para dejar atrás al glifosato y otros plaguicidas altamente peligrosos [Comunicado de prensa]. <https://www.conahcyt.mx/argumentos-de-base-cientifica-y-avances-para-dejar-atras-al-glifosato-y-otros-plaguicidas-altamente-peligrosos/>
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología [CONAHCYT]. (2024). Conahcyt presenta alternativas y prácticas para prescindir del glifosato. CONAHCYT. <https://conahcyt.mx/si-se-puede-conahcyt-presenta-alternativas-y-practicas-para-prescindir-del-glifosato/>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2021). The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient namental, junto con la disponibilidad de tecnologías alternativas en condiciones comparables de eficacia, costo y accesibilidad, constituye un elemento clave para modificar el sistema productivo. Este proceso requiere, además, de incentivos económicos, capacitación técnica y mecanismos de financiamiento orientados a facilitar la adopción de nuevas prácticas sin comprometer la viabilidad productiva de los productores.
- Agradecimientos**
- Al Distrito de Desarrollo Rural 174 de Ciudad Alemán, Veracruz, por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la presente investigación. Asimismo, se agradece a los productores del Programa Producción para el Bienestar por su participación en el estudio.
- Financiamiento**
- Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) a través del programa Estancias Postdoctorales por México (2025–2027).
- Fin de la versión en español*
- to shocks and stresses. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cb4476en>
- Gobierno de México. (2025). En México se prohíben 35 plaguicidas por su daño a la salud y al medio ambiente: presidenta Claudia Sheinbaum. Comunicado de prensa. Presidencia de la República. <https://www.gob.mx/presidencia/prensa/en-mexico-se-prohiben-35-plaguicidas-por-su-dano-a-la-salud-y-al-medio-ambiente-presidenta-claudia-sheinbaum?idiom=es>
- Gobierno del Estado de Veracruz. (2024). Cuadernillos municipales edición 2024 Cosamaloapan de Carpio. Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (SIEGVER). https://cieg.gobiernodigital.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2024/11/Cosamaloapan-de-Carpio_CM_2024_Ver.2.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa: Veracruz. INEGI. <https://www.inegi.org.mx>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2015). Some organophosphate insecticides and herbicides (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 112). World Health Organization. <https://publications.iarc.fr/112>
- International Panel of Experts on Sustainable Food Systems (IPES-Food). (2016). From uniformity to diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. IPES-Food. http://www.ipes-food.org/_img/upload/files/UniformityToDiversity_FULL.pdf
- Levidow, L., Pimbert, M., & Vanloqueren, G. (2014). Agroecological research: Conforming—or transforming the dominant agro-

- food regime? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(10), 1127–1155. <https://doi.org/10.1080/21683565.2014.951459>
- Mesnage, R., & Antoniou, M. N. (2017). Facts and fallacies in the debate on glyphosate toxicity. *Frontiers in Public Health*, 5, 316. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00316>
- Mier y Terán Giménez Cacho, M., Giraldo, O. F., Aldasoro Maya, E. M., Morales, H., Ferguson, B. G., Rosset, P., Khadse, A., & Campos, C. (2022). Bringing agroecology to scale: Key drivers and emblematic cases. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(6), 637–665. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1443313>
- Plataforma de Programas para el Bienestar. (2024). Producción para el Bienestar. <https://programasparaelbienestar.gob.mx/produccion-para-el-bienestar/>
- Procuraduría Agraria. (2024). Sí es posible producir alimentos sin glifosato en México, hay alternativas y evidencia científica. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/pa/articulos/si-es-posible-producir-alimentos-sin-glifosato-en-mexico-hay-alternativas-y-evidencia-cientifica>
- Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina (RAP-AL). (2023). México: CONAHCYT y CIBIOGEM difunden argumentos de base científica y avances para dejar atrás al glifosato y otros plaguicidas altamente peligrosos. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina. <https://rap-al.org/mexico-conahcyt-y-cibiogem-difunden-argumentos-de-base-cientifica-y-avances-para-dejar-atras-al-glifosato-y-otros-plaguicidas-altamente-peligrosos/>
- Red de Acción Sobre Plaguicidas y Alternativas en México (RAPAM). (2025). *Pronunciamiento sobre el decreto que prohíbe 35 plaguicidas en el territorio nacional*. <https://www.rapam.org/pronunciamiento-sobre-el-decreto-que-prohibe-35-plaguicidas-en-territorio-nacional/>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023). Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural para el ejercicio fiscal 2024. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5713354&fecha=29/12/2023
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2024a). Panorama agroalimentario de la caña de azúcar en México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2024b). Programa Producción para el Bienestar 2024. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/programa-produccion-para-el-bienestar-2024>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024c). Datos de beneficiarios, monto y superficie del Programa Producción para el Bienestar (corte a junio). Datos.gob.mx. <https://datos.gob.mx>
- Silva, V., Mol, H. G. J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653, 1532–1545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>
- Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(6), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- World Bank. (2011). ICT in agriculture: Connecting smallholders to knowledge, networks, and institutions. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8684-2>