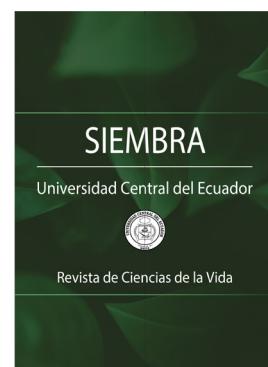


# Prácticas de fertilización en la microcuenca La Compañía: un análisis desde la perspectiva de productores agrícolas del Estado de México

## Fertilization practices in the La Compañía micro-watershed: an analysis from the perspective of agricultural producers in the State of Mexico



Aurora Guadalupe Martínez-Ponce<sup>1</sup>, Luis Ricardo Manzano-Solís<sup>2</sup>,  
Denise Soares-Moraes<sup>3</sup>, Roberto Franco-Plata<sup>4</sup>

Siembra 12 (2) (2025): e8679

Recibido: 01/09/2025 / Revisado: 08/11/2025 / Aceptado: 10/12/2025

- <sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de México.  
Facultad de Geografía. 50110. Toluca, Estado de México, México.  
✉ agmartinezp@uaemex.mx  
✉ https://orcid.org/0000-0001-6990-9747
- <sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de México.  
Facultad de Geografía. 50110. Toluca, Estado de México, México:  
✉ lrmanzanos@uaemex.mx  
✉ https://orcid.org/0000-0002-6634-2930
- <sup>3</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.  
Subcoordinación de Participación Ciudadana y Derechos Humanos. Paseo Cuauhnahuac 8532,  
Colonia Progreso. 62550. Jiutepec, Morelos, México.  
✉ denisefsoares@yahoo.com.mx  
✉ http://orcid.org/0000-0003-1811-0139
- <sup>4</sup> Universidad Autónoma del Estado de México.  
Facultad de Geografía. 50110. Toluca, Estado de México, México.  
✉ rfp@uaemex.mx  
✉ https://orcid.org/0000-0002-3031-6562

\* Autor de correspondencia:  
agmartinezp@uaemex.mx

### Resumen

El proceso de modernización agrícola ha promovido la dependencia de insumos externos y contaminación del ambiente. La investigación tuvo como objetivo acercarse a las prácticas productivas empleadas en los sistemas agrícolas de maicero tradicional y papero tecnificado, así como a las percepciones de agricultores respecto a los impactos socioambientales y productivos del uso de fertilizantes en la microcuenca La Compañía, Estado de México, a fin de identificar, desde la perspectiva de los productores, los factores que condicionan sus prácticas de fertilización y sus efectos diferenciales en la sustentabilidad agrícola local. Se aplicaron 44 entrevistas semiestructuradas a productores, cuyos hallazgos revelan la coexistencia de sistemas tecnificados intensivos y tradicionales en la microcuenca. Mientras los paperos reciben asistencia técnica privada, compran semillas mejoradas y priorizan la fertilización química; los conocimientos de los maiceros provienen de herencia familiar, practican el intercambio comunitario de semillas y combinan fertilizantes químicos con naturales. Se concluye que prevalece una compleja diferenciación sociotecnológica en la microcuenca, la cual trasciende las prácticas convencionales de manejo de cultivos, configurando dos modelos productivos contrastantes, con implicaciones diferenciadas para la sostenibilidad agroecológica regional.

**Palabras clave:** fertilizantes, maíz, papa, percepciones, sustentabilidad agrícola.

### Abstract

The process of agricultural modernization has fostered dependence on external inputs and environmental pollution. This research aimed to examine the production practices employed in traditional corn and technologically advanced potato farming systems, as well as farmers' perceptions of the socio-environmental and productive impacts of fertilizer use in the La Compañía micro-watershed, State of Mexico. The objective of this study was to identify, from the producers' perspective, the factors that influence their fertilization practices and their differential effects on local agricultural sustainability. A total of 44 semi-structured interviews were conducted with producers, and the findings reveal the coexistence



of intensive, technologically advanced systems and traditional ones in the micro-watershed. While potato farmers receive private technical assistance, purchase improved seeds, and prioritize chemical fertilization, corn farmers' knowledge stems from family tradition, they practice community seed exchange, and they combine chemical and natural fertilizers. Consequently, it has been determined that a multifaceted socio-technological differentiation prevails within the micro-basin, a phenomenon that transcends conventional crop management practices. This results in the configuration of two contrasting production models, each with differentiated implications for regional agroecological sustainability.

**Keywords:** fertilizers, maize, potato, perceptions, agricultural sustainability.

## 1. Introducción

La necesidad de alimentar a una población creciente dio lugar a una intensificación agrícola durante las últimas décadas. En los últimos 60 años la población en el mundo ha aumentado aproximadamente 4,900 millones de habitantes (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2024). Este crecimiento incluyó el desarrollo de tecnología que favoreciera la nutrición y por ende el incremento del rendimiento de los cultivos, dando lugar a un proceso estructural de dependencia mundial del uso de fertilizantes sintéticos en los sistemas de producción agroalimentaria (Quitzow et al., 2025). Siendo su aplicación fundamental para brindar seguridad alimentaria global (Susanti et al., 2023).

Sin embargo, diversos estudios destacan la ineficiencia y asimetrías entre países en el uso de los fertilizantes químicos, lo que generó problemas ambientales, desequilibrios nutricionales del suelo y producción alimentaria no óptima (Penuelas et al., 2023). Un ejemplo de ello es el incremento del uso de fertilizantes por hectárea de más del 400% en regiones de África, América del Norte y del Sur durante el periodo 1966-2022 (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2022). Esto se puede traducir en la aplicación de 31 megatoneladas en 1961 a 195 megatoneladas registradas en 2021. De esta cantidad, el 60% corresponde a fertilizantes nitrogenados (N), mientras que los otros dos tipos principales de fertilizantes (fosforados y potásicos) representan aproximadamente una quinta parte de la fertilización (Quitzow et al., 2025). Esta dependencia no es meramente técnica, sino que se inscribe en una geografía desigual del desarrollo, donde los países del Sur Global dependen significativamente de las importaciones de fertilizantes producidos en el Norte Global.

En México, esta dependencia estructural se ha intensificado tras las disruptivas en las cadenas de suministro globales ocasionadas por la pandemia de COVID-19 y el conflicto Rusia-Ucrania, que elevaron significativamente los precios de los fertilizantes. Ante esta situación, el gobierno federal anunció planes en 2022 para triplicar la producción de fertilizantes, con el objetivo de apoyar a los agricultores locales y frenar la inflación de precios al consumidor, logrando la autosuficiencia en fertilizantes para 2024 (Rentería Ximello et al., 2024). Sin embargo, estas iniciativas revelan la magnitud de la dependencia existente y las limitaciones estructurales del sistema productivo nacional, configurando un escenario donde la seguridad alimentaria nacional se encuentra intrínsecamente vinculada a la capacidad de acceso a fertilizantes sintéticos. De hecho, de los 32,1 millones de hectáreas de tierra cultivada a nivel nacional, el 66,8% es fertilizada (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2023), lo que evidencia una alta dependencia del sector agrícola nacional hacia insumos externos (U.S. Commercial Service, 2023). Según Duhalt (2022), el aumento de precios de fertilizantes podría significar mayores costos para producir cultivos y/o obligar a los agricultores a reducir la fertilización, lo que podría reflejarse en los rendimientos de los cultivos e incluso en la superficie cultivada, principalmente entre los agricultores más vulnerables.

En este sentido, las decisiones campesinas sobre el uso de fertilizantes pueden entenderse como respuestas condicionadas por marcos institucionales y políticas agrícolas que configuran el espacio de posibilidades para los productores rurales. El rol de las políticas agrícolas en la toma de decisiones campesinas sobre fertilizantes se manifiesta a través de múltiples mecanismos: subsidios directos, programas de asistencia técnica, créditos preferenciales y regulaciones ambientales (Rentería Ximello et al., 2024).

La búsqueda de alternativas tecnológicas ha llevado al desarrollo de fertilizantes que también tienen el potencial de mejorar el crecimiento de las plantas, proporcionar resistencia a enfermedades y contribuir a prácticas agrícolas sostenibles (Zhao et al., 2024). Sin embargo, la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles requiere transformaciones que van más allá de la mera sustitución técnica de insumos, demandando cambios en los sistemas de conocimiento, el acceso a asistencia técnica, los canales de comercialización y las políticas públicas de apoyo al sector (Niggli et al., 2023). En este contexto, el estudio de las prácticas de ferti-

lización en la microcuenca La Compañía se presenta como una oportunidad para comprender las manifestaciones territoriales específicas de estos procesos, analizando cómo las decisiones productivas de los agricultores, las políticas agrícolas y los impactos socioambientales se articulan en un espacio geográfico concreto, contribuyendo así a la construcción de alternativas más sustentables y socialmente justas para el desarrollo rural.

El objetivo de esta investigación fue analizar, mediante entrevistas semiestructuradas, las prácticas productivas empleadas en los sistemas maicero tradicional y papero tecnificado, así como las percepciones de agricultores respecto a los impactos socioambientales y productivos del uso de fertilizantes, en la microcuenca La Compañía, Estado de México, a fin de identificar, desde la perspectiva de los productores, los factores que condicionan sus prácticas de fertilización y sus efectos diferenciales en la sustentabilidad agrícola local. Las preguntas que guiaron la investigación fueron: 1. ¿Cómo perciben los productores maiceros tradicionales y paperos los impactos ambientales y productivos derivados de sus prácticas de fertilización en la microcuenca La Compañía? 2. ¿Qué diferencias existen en las percepciones medioambientales entre productores del sistema tradicional maicero y del sistema papero tecnificado, y cómo estas influyen en sus estrategias de manejo de fertilizantes? Al responder a dichas interrogantes se aporta información valiosa para comprender mejor las decisiones de productores en el ámbito de sus sistemas productivos.

## 2. Revisión de literatura

La discusión científica contemporánea sobre fertilizantes revela tensiones fundamentales entre la necesidad productiva y la sostenibilidad ambiental. Mientras Penuelas et al. (2023) argumentan que la ineficiencia y las asimetrías entre países en el uso de fertilizantes han generado problemas ambientales, desequilibrios nutricionales del suelo y producción alimentaria no óptima; Aryal et al. (2021) reconocen que los fertilizantes nitrogenados, aunque son uno de los insumos más esenciales para aumentar la producción agrícola, son la causa principal de emisiones de óxido nítrico. Esta dualidad está presente en las reflexiones de Jwaideh et al. (2022), quienes evidencian que se identifica la necesidad de incrementar las tasas de fertilización en África subsahariana de 10 a 50 kg ha<sup>-1</sup> para garantizar la seguridad alimentaria, sin embargo, advierten que la aplicación intensiva de fertilizantes nitrogenados y fosforados ha causado eutrofización, con el enriquecimiento de nutrientes de cuerpos de agua, lo que lleva al crecimiento excesivo de algas. Esta contradicción subraya la complejidad de balancear las demandas productivas con los límites ecológicos planetarios (Steffen et al., 2015).

Un consenso emergente entre los autores se centra en las ineficiencias sistemáticas de los sistemas de fertilización actuales. Martínez-Dalmau et al. (2021) documentan que casi la mitad del fertilizante nitrogenado aplicado no es utilizado por los cultivos y se pierde al ambiente vía emisión de gases o contaminando cuerpos de agua, una perspectiva que converge con los hallazgos de quienes reportan que entre el 50 al 70% del nitrógeno (Zeng et al., 2021) y más del 70% del fósforo aplicado al suelo se pierde antes del consumo humano como alimento (Bouwman et al., 2013). Estas pérdidas, según Suchkov et al. (2022), resultan en costos incrementados de producción de cultivos, contaminación atmosférica e hídrica, configurando un escenario donde la ineficiencia genera impactos económicos y ambientales simultáneos. Lyu et al. (2021) complementan esta perspectiva al evidenciar que el uso de fertilizantes nitrogenados en agricultura produce cantidades significativas de gases nitrogenados, incluyendo amoníaco, óxido nítrico y óxido nítrico, sugiriendo que las ineficiencias no solo representan pérdidas económicas, sino contribuciones directas al cambio climático global.

Aryal et al. (2021) demuestran que los elementos económicos (como el acceso a créditos y la riqueza) y de capital social (como la participación a grupos comunitarios y el acceso a redes de información técnica) están correlacionados positivamente con el incremento del uso de fertilizantes inorgánicos, mientras que Touch et al. (2024) argumenta que los pequeños agricultores a menudo no tienen acceso a tecnologías agrícolas modernas, como sistemas de irrigación y métodos inteligentes de fertilización. Esta perspectiva social encuentra eco en los análisis de Sánchez (2002) sobre las disparidades globales en el acceso a fertilizantes, particularmente en África subsahariana. Sin embargo, emerge una tensión entre las recomendaciones técnicas de incrementar el uso de fertilizantes para mejorar la productividad y las advertencias señaladas por Anas et al. (2020) sobre el uso excesivo e ineficiente de fertilizante nitrogenado, potenciando la contaminación. Esta contradicción sugiere que las soluciones requieren aproximaciones diferenciadas según las condiciones socioterritoriales y climáticas específicas, más que recetas universales de intensificación.

La Environmental Protection Agency (EPA, 2025) documenta que los nutrientes en fertilizantes y estiércol del ganado, pesticidas y otras sustancias no siempre permanecen estacionarios en el paisaje donde son

aplicados, una perspectiva que se alinea con los hallazgos de Stackpoole et al. (2025) sobre cómo la escorrentía e infiltración transportan estos contaminantes hacia arroyos, ríos y aguas subterráneas locales. Xia et al. (2020) profundizan esta perspectiva, al identificar que el nitrógeno y fósforo de la escorrentía agrícola son las principales fuentes de entrada de nutrientes en sistemas hídricos; mientras que Guignard et al. (2017) advierten que estos elementos pueden limitar el crecimiento de productores primarios en la mayoría de los ecosistemas acuáticos y terrestres del mundo. Esta convergencia sugiere que los impactos de fertilizantes configuran problemáticas territoriales que requieren manejo a escala de cuencas hidrográficas, no solo a nivel predial.

La discusión sobre sostenibilidad revela tanto convergencias como divergencias significativas. Pretty (2008) propone que la sostenibilidad agrícola debe desarrollar tecnologías y prácticas que no generen efectos adversos sobre los bienes y servicios ambientales, siendo accesibles y apropiadas para las condiciones sociales y territoriales específicas. Una perspectiva que encuentra apoyo en Gomiero (2016), quien advierte que la degradación del suelo representa una amenaza para la seguridad alimentaria. Sin embargo, surge una preocupación entre las visiones optimistas de intensificación sostenible y las advertencias más críticas sobre los límites ecológicos. Mientras que Yousaf et al. (2017) documentan que las respuestas de los sistemas agrícolas a la fertilización varían considerablemente según las condiciones edafoclimáticas locales, sugiriendo posibilidades de optimización tecnológica, Jwaideh et al. (2022) y Pan et al. (2022) documentan impactos sistemáticos que trascienden las especificidades locales. Esta divergencia sugiere que la sostenibilidad requiere transformaciones estructurales más profundas que van más allá de ajustes técnicos, incluyendo cambios en las relaciones socioterritoriales que configuran los sistemas agrícolas contemporáneos.

### 3. Materiales y Métodos

La microcuenca La Compañía adquiere su nombre respecto al nombramiento de la estación hidrométrica con clave 18462, la cual fue identificada a través del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales [BANDAS]. La microcuenca se localiza en el centro de México, entre los estados de México y Michoacán (con un 99% y 1% de superficie, respectivamente). Posee una extensión de 290 km<sup>2</sup>, que abarca los municipios mexiquenses de San José del Rincón (88%), San Felipe del Progreso (6%) y Villa Victoria (5%) (Figura 1). De acuerdo con el INEGI (2020), la población total de la microcuenca La Compañía registrada en el Censo de Población y Vivienda del 2020 fue de 61,376 habitantes, de los cuales el 51% son mujeres y el 49% hombres. Del total de la población, el 42% vive en localidades urbanas y el 58% en localidades rurales, distribuidas en 81 localidades. La población económicamente activa corresponde al 71%, de la cual el 29% son mujeres y 71% son hombres. De acuerdo con la Frontera Agrícola serie IV, la superficie agrícola de la cuenca es de 168 km<sup>2</sup>, correspondiente al 58% de su territorio. Se practica la agricultura de temporal en una superficie equivalente al 86% del territorio de la microcuenca, correspondiente al municipio de San José del Rincón y en menor porcentaje a los municipios de Villa Victoria y San Felipe del Progreso (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022).

Desde el referente metodológico, la investigación adoptó un enfoque cualitativo orientado a comprender el significado que productores agrícolas de la microcuenca La Compañía, en el Estado de México, otorgan al manejo de fertilizantes en sus cultivos de papa y maíz. Para recabar la información se diseño y aplicó una entrevista semiestructurada a 44 agricultores de la región, en el periodo entre la primavera del 2024 y del 2025, cuyo guion exploró los siguientes temas: 1) características socioeconómicas (edad, sexo, escolaridad, tenencia de la tierra, superficie cultivada); 2) sistemas de producción y prácticas agrícolas (tipo y cantidad de fertilizantes, rendimiento de cultivos, origen de semillas, origen de fertilizantes); 3) conocimiento (fuente del conocimiento para el manejo de la parcela); 4) percepción ambiental (relación fertilizantes-contaminación, sensibilidad ambiental, productividad de cultivos). Además, todos los participantes fueron informados sobre los objetivos de la investigación, el uso que se daría a la información recopilada y su derecho a retirarse del estudio en cualquier momento.

El muestreo utilizado fue de tipo no probabilístico, intencional, con la selección de informantes clave. Su objetivo no fue realizar inferencia estadística, con generalizaciones de resultados para toda la población; sino lograr un conocimiento detallado sobre las percepciones de productores agrícolas. En este tipo de muestreo se seleccionan personas con base en su capacidad para proporcionar información, debido a la experiencia vivencial en relación con el tema estudiado. El tamaño de la muestra se basa en la saturación, es decir, cuando entrevistas adicionales ya no brindan información nueva, dado que lo decisivo no es el número de personas

entrevistadas, sino la riqueza y diversidad de la información brindada por participantes (Martínez-Salgado, 2022). El análisis de los datos se realizó mediante Microsoft Excel, por ser una aplicación de hoja de cálculo que ayuda a organizar y analizar información.

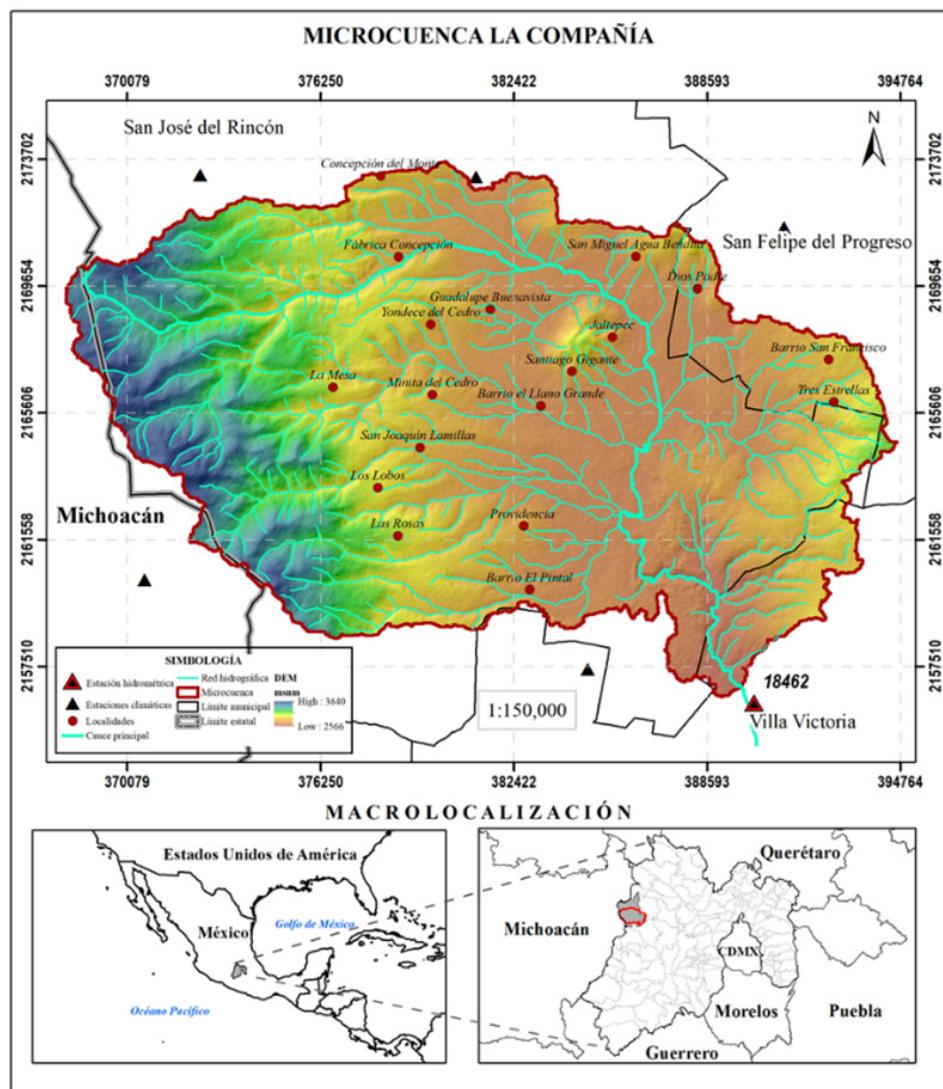


Figura 1. Localización de la microcuenca La Compañía.

Figure 1. Location of the La Compañía micro-watershed.

## 4. Resultados y Discusión

### 4.1. Características socioeconómicas de las personas entrevistadas

El análisis de las características socioeconómicas revela factores determinantes que condicionan diferencialmente las prácticas de fertilización entre el sistema agrícola tradicional maicero y el sistema papero tecnificado. Los sistemas de producción de las personas entrevistadas se centran principalmente en la siembra de papa o maíz. La composición demográfica muestra predominancia masculina (73% hombres) con concentración etaria en el grupo de 29-75 años. La edad promedio de los paperos es más baja que la de maiceros, de hecho, mientras que aquel grupo cuenta con individuos entre 29 y 58 años, en éste oscila entre 34 y 75.

Las mujeres representaron el 27% de las personas entrevistadas, todas son viudas, con una edad promedio de 44 años, quienes accedieron a la tierra como sucesoras de su marido difunto. Antes se dedicaban a labores no agrícolas, compartiendo sus tiempos entre empleo doméstico remunerado y actividades de cuidado al interior de sus hogares. Para ellas, hacerse cargo de las parcelas ha significado desafíos significativos, incluyendo

obstáculos sociales y culturales, dado que la posesión de la tierra sigue atada a costumbres ancestrales, que mantienen su significación como un recurso eminentemente masculino, pese a modificaciones en la Ley Ejidal en 1971, con el fin de otorgar los mismos derechos agrarios a hombres y mujeres.

Las entrevistadas establecen un rol diferenciado con las parcelas según el sistema productivo. En el sistema maicero, las mujeres participan principalmente en la toma de decisiones sobre manejo de fertilizantes orgánicos y conservación de semillas criollas. Su conocimiento se basa fuertemente en la herencia familiar y experiencia propia, contribuyendo a la preservación de prácticas tradicionales ancestrales. Por otro lado, en el papero, la participación femenina se concentra más en aspectos administrativos y comerciales, con menor involucramiento directo en las decisiones técnicas de fertilización, las cuales se delegan en asesoría técnica especializada. De hecho, se mantiene la tendencia de manejo agrícola de la tierra que venían desarrollando los hombres (sus maridos).

La distribución educativa es heterogénea (25% primaria, 22,7% secundaria, 20,5% preparatoria, 22,7% licenciatura, 4,5% posgrado), lo que condiciona significativamente la adopción diferencial de prácticas de fertilización entre los sistemas productivos identificados. El nivel de escolaridad es significativamente mayor entre productores de papa con respecto a los maicerros. De hecho, más del 63% de los maicerros cuenta con estudios de primaria y secundaria, mientras que un porcentaje elevado de paperos (47%) ha cursado la preparatoria e inclusive la licenciatura. Esto influye en patrones contrastantes entre uso de fertilizantes químicos de manera intensiva entre paperos y prácticas tradicionales con bases orgánicas en el sistema maicero. Esta diferenciación educativa también puede tener influencia en la percepción de los impactos socioambientales, donde productores con mayor escolaridad articulan problemáticas específicas como contaminación de suelos y cuerpos de agua por agroquímicos, mientras aquellos con menor nivel educativo priorizan impactos inmediatos como reducción de rendimientos y escasez hídrica.

La estructura de tenencia de tierra revela condicionantes críticos para la elección del sistema productivo y las prácticas de fertilización asociadas. La concentración de tierras (50% posee más de 4 ha, 20% controla más de 20 ha) determina que productores con mayor superficie (promedio 18,7 ha) adopten el sistema papero tecnificado con fertilización química intensiva, mientras pequeños propietarios (promedio 4,2 ha) mantienen el sistema maicero tradicional con fertilización orgánica y diversificación económica compensatoria. Esta diferenciación espacial genera impactos socioambientales contrastantes: el sistema papero se concentra tradicionalmente en las zonas medias y bajas de la microcuenca, estableciéndose preferentemente en terrenos con pendientes que favorecen el drenaje del cultivo. Sin embargo, en los últimos años se observa una creciente presión de expansión agrícola de la papa hacia las partes altas de la microcuenca, intensificando la presión sobre recursos hídricos y suelo en ecosistemas más frágiles. Por el contrario, el sistema maicero disperso mantiene prácticas menos impactantes, pero de menor productividad.

Las superficies agrícolas muestran diferencias marcadas entre sistemas productivos, donde los paperos manejan extensiones considerablemente mayores, con un promedio de 18,3 ha (rango de 3-47), contrastando con los maicerros, que operan superficies menores, con promedio de 2,8 ha (rango de 0,5-6). Esta diferencia en escala productiva condiciona las estrategias económicas adoptadas: el 89% de los maicerros implementa diversificación económica, combinando agricultura con comercio de abarrotes, albañilería, cargos municipales, actividades domésticas remuneradas y renta de tierras como mecanismos compensatorios ante los menores rendimientos obtenidos con fertilización orgánica o sin fertilización, así como la dependencia de precipitación temporal. Mientras que solo el 42% de los paperos recurre a actividades complementarias, concentrándose principalmente en comercio de abarrotes y renta de maquinaria, pero manteniendo la agricultura como actividad económica principal debido a la mayor rentabilidad por unidad de superficie que proporciona el cultivo tecnificado de papa. Esta diferenciación entre productores maicerros y paperos refleja estrategias adaptativas contrastantes y condicionadas por las características intrínsecas de cada sistema productivo.

Los pequeños productores maicerros (promedio 2,8 ha) mantienen prácticas de fertilización orgánica de menor intensidad, lo cual, combinado con la dependencia de precipitación temporal, genera rendimientos reducidos que obligan al 89% a implementar estrategias de diversificación económica compensatoria. Esta diversificación, aunque necesaria para su seguridad económica, genera presión temporal que limita aún más la intensidad del manejo agrícola, perpetuando un ciclo de baja productividad. Esta diferenciación en diversificación económica condiciona la percepción de riesgos y la capacidad de transición entre sistemas agrícolas, donde la dependencia económica del sistema papero tecnificado genera mayor vulnerabilidad ante fluctuaciones de precios de fertilizantes químicos, mientras la diversificación del sistema maicero proporciona mayor resiliencia, pero menor capitalización para intensificación productiva.

#### 4.2. Sistemas de producción y prácticas agrícolas

Las diferencias más marcadas entre los sistemas de producción en la microcuenca La Compañía se evidencian en el manejo de la fertilización. Mientras que el cultivo de maíz recibe en promedio 100 kg ha<sup>-1</sup> de urea, el cultivo de papa demanda aproximadamente 350 kg ha<sup>-1</sup> de DAP (fósforo diamónico), además de fertilizantes complementarios como Triple 16 y potasa. Esta diferencia refleja una intensidad de fertilización 3,5 veces mayor en el sistema papero comparado con el maicero. En cuanto a los calendarios de siembra en La Compañía, el maíz se establece a finales de marzo y durante abril, mientras que la papa se siembra a finales de mayo y durante junio. En el sistema maicero, el 41% de los productores complementa la fertilización química con insumos orgánicos (lama de borrego, gallinaza y composta), manteniendo así vínculos parciales con las prácticas tradicionales de manejo. En contraste, el sistema papero evidenció una dependencia casi exclusiva de fertilizantes químicos especializados y de paquetes tecnológicos de agroquímicos, que incluyen fertilizantes, herbicidas y pesticidas específicos para el desarrollo óptimo del cultivo.

Un hallazgo crítico reveló que el 68,2% de los productores han incrementado las dosis de fertilizantes aplicadas, con el argumento de que existe una relación directa entre cantidad de fertilización y rendimiento de la cosecha. Ello está ocasionando un exceso de fertilización por parte de agricultores, con las consecuencias ambientales que ello conlleva. Respecto a las cantidades de fertilizante aplicadas en el sistema papero, dichos resultados coinciden con los encontrados por Arce-Estrada et al. (2025), quienes observaron en su investigación, realizada en el municipio de Tlaltizapán de Zapata, Morelos, México, que los agricultores optan por aplicar una dosis más elevada de agroquímico que la indicada, al considerar que ello incrementa su eficacia. Los autores retoman el argumento de varios entrevistados, con el dicho: “Hay que echarle más para que amarre”. La sobreaplicación de fertilizantes por parte de los agricultores está directamente relacionada con la carencia de conocimientos adecuados sobre su impacto en la salud ambiental; de hecho, todos los agricultores entrevistados del sistema papero no relacionan el proceso de contaminación del ambiente local con sus prácticas cotidianas de fertilización de suelos.

Los rendimientos de los cultivos en la microcuenca muestran diferencias significativas entre sistemas productivos. El maíz presenta rendimientos que oscilan entre 1,5 y 6 ton ha<sup>-1</sup>, con un promedio aproximado de 3 ton ha<sup>-1</sup>, siendo considerablemente menores en las zonas donde predominan los beneficiarios del programa gubernamental de fertilizantes, quienes reportan rendimientos entre 1,5 y 2,5 ton ha<sup>-1</sup>. En contraste, el cultivo de papa muestra rendimientos sustancialmente superiores, fluctuando entre 25 y 60 ton ha<sup>-1</sup>, con un promedio cercano a las 42 ton ha<sup>-1</sup>, evidenciando una productividad hasta 14 veces mayor que el maíz. Esta disparidad refleja no solo las diferencias inherentes entre ambos cultivos, sino también la intensidad de manejo tecnológico, donde el sistema papero concentra mayor inversión en fertilizantes químicos especializados y paquetes tecnológicos integrales, mientras que el sistema maicero, especialmente en zonas de menor tecnificación, mantiene rendimientos más modestos con mayor dependencia de fertilizantes orgánicos y fertilizantes brindados por programas gubernamentales, con una percepción generalizada de baja efectividad.

Los productores con las mayores aplicaciones de fósforo (450-500 kg DAP ha<sup>-1</sup>) obtienen rendimientos de 45-60 ton ha<sup>-1</sup>, que, aunque superiores al promedio, no justifican económicamente el 30-40% adicional de fertilizante aplicado comparado con productores que usan 350 kg DAP ha<sup>-1</sup> y obtienen rendimientos similares (40-45 ton ha<sup>-1</sup>). Estas cantidades de aplicación sugieren varios aspectos problemáticos: ineficiencia económica, donde el costo adicional del fertilizante no se traduce en incrementos proporcionales de rendimiento; posible antagonismo nutricional, riesgo ambiental por acumulación de fósforo en suelos y posible lixiviación hacia cuerpos de agua; y dependencia tecnológica excesiva, donde los productores asumen erróneamente que más fertilizante es igual a mayor rendimiento. Evidenciando la necesidad de programas de asistencia técnica que promuevan la fertilización balanceada basada en análisis de suelos y curvas de respuesta específicas para optimizar tanto la productividad como la rentabilidad del sistema agrícola de papa.

El manejo de las semillas constituye otro factor de extrema relevancia en la diferenciación entre los sistemas productivos maicero y papero. Mientras los productores de papa las compran mejoradas (certificadas) de distribuidores agrícolas de los centros urbanos de mayor tamaño, que las traen desde Culiacán; los maiceros intercambian sus semillas en forma directa, de agricultor a agricultor, guardando semillas de su propia cosecha para la siguiente temporada de siembra. De esta manera, escogen las variedades de maíz según las características que necesitan, conociendo el desempeño de las plantas de las que provinieron sus semillas. Este sistema informal de distribución se configura a partir de alianzas sociales tradicionales y relaciones familiares, cuyos principios se basan en la interdependencia y confianza mutua, además de asegurar la transmisión del conoci-

miento entre pares. Según palabras de un productor de maíz:

La semilla del maíz, la conseguimos del mismo maíz que sembramos. Uno levanta tantito maíz de las mismas mazorquitas que tenemos nosotros, las más grandes, las más bonitas son las que sacamos para la semilla y si no en este caso a veces intercambiamos semillas con el amigo o con alguna persona que hayamos visto que levantó un buen colote ha de tener semilla y vamos a ver si nos vende cuatro o cinco cuartillos (A.G., comunicación personal, 18 de mayo de 2024).

En cuanto a la evolución temporal de los rendimientos de las parcelas agrícolas en la microcuenca La Compañía, los resultados revelaron que el 57% de los entrevistados percibe una disminución en los rendimientos, contrastando con el 27% que reporta incrementos y el 16% que los consideran estables. Esta distribución refleja la complejidad de factores que influyen en las percepciones agrícolas locales y coincide con estudios previos que documentan la variabilidad en las percepciones de productores según contextos específicos. Asimismo, se observan patrones diferenciados según el sistema productivo.

Los productores de papa que reportan incrementos en rendimientos (principalmente concentrados en localidades como Palizada, Providencia y Las Milpas) han logrado adaptarse exitosamente mediante el uso intensivo de fertilizantes químicos especializados y paquetes tecnológicos. Por el contrario, los productores de maíz en La Compañía que perciben rendimientos estables (particularmente en localidades como La Peña, San Cristóbal y algunas zonas de Ocotillos) parecen estar empleando estrategias locales efectivas basadas en fertilizantes orgánicos tradicionales como lama de borrego y compost, o beneficiándose de microclimas favorables específicos de la microcuenca, lo que les permite mantener cierta estabilidad productiva a pesar de las limitaciones tecnológicas y nutricionales identificadas en este sistema.

Si bien los productores de maíz combinan la fertilización química con la orgánica, prevalece una percepción más o menos generalizada entre las personas entrevistadas, acerca de la necesidad ineludible del uso de agroquímicos en las parcelas, a fin de obtener un rendimiento aceptable de la cosecha. Las decisiones de agricultores acerca de la preferencia por la fertilización química están insertas en un sistema de creencias que se vino construyendo desde mediados del siglo pasado, orientado a cambiar el modelo de producción agrícola y generar una agricultura industrializada, tecnificada y altamente dependiente de insumos. A este proceso histórico de incorporación al modelo agrícola tecnificado se le denominó “Revolución Verde” (Chilón Camacho, 2017). Con ello los fertilizantes se han convertido en insumos agrícolas indispensables para contar con altos rendimientos de cultivos, en especial para el cultivo de cereales. Sin embargo, las condiciones geográficas, la capacidad del cultivo y del suelo para asimilar estos nutrientes y, aún más importante, las prácticas inadecuadas de ordenamiento territorial han sido factores que generan problemas de contaminación y cambios en el régimen hídrico (Mateo-Sagasta et al., 2018).

Aunado a ello, un impacto social relevante derivado de la incorporación de agricultores al modelo agroindustrial es la erosión y pérdida de conocimientos que habían sido trasmítidos por generaciones. Al depender de insumos agrícolas externos a sus sistemas de producción, ya no se retoma las experiencias de generaciones anteriores que desarrollaban una agricultura autónoma. Con la Revolución Verde se fue creando una cultura agrícola inserta en una lógica económica que normalizó y legitimó el uso de agroquímicos como una alternativa productiva aparentemente más cómoda, pero sin duda más peligrosa (Arce-Estrada et al., 2025).

Los principios en los cuales se sustentaba la Revolución Verde han sido objeto de cuestionamiento crítico desde hace décadas. Si bien contribuyó al incremento de la producción agrícola global, sus impactos fueron profundamente ambivalentes: no logró resolver la inseguridad alimentaria ni erradicar las hambrunas, problemas que persisten vinculados a dimensiones estructurales de acceso, distribución y pobreza. Simultáneamente, generó externalidades negativas significativas, incluyendo degradación de suelos, contaminación del agua y pérdida de biodiversidad, además de profundizar las desigualdades socioeconómicas entre agricultores, excluyendo a pequeños productores que no podían costear los insumos tecnológicos requeridos.

Sin embargo, aún no está suficientemente consolidado en el imaginario colectivo de los agricultores la necesidad de un desarrollo agrícola sostenible y permanece la percepción de que la aplicación de elevadas cantidades de agroquímicos es indispensable para garantizar la cosecha.

En este sentido, comienza a evidenciarse en algunos sectores de la microcuenca una percepción diferenciada acerca de los resultados de la aplicación de fertilizantes. Mientras los productores paperos afirman que los fertilizantes químicos comerciales son efectivos para promover incrementos de rendimiento, varios productores (tanto de maíz como de papa) reconocen una dependencia creciente, mencionando que “ha tenido

que incrementar la cantidad” y que antes ni siquiera se requerían fertilizantes. Adicionalmente, algunos entrevistados expresan preocupaciones sobre la “contaminación del suelo” y el “deterioro del suelo”, aunque esta percepción no está generalizada en toda la microcuenca.

Por otro lado, el 75% de los productores paperos reportó necesidad de incrementar o mantener aplicaciones para conservar niveles productivos, evidenciando un *treadmill* tecnológico ampliamente documentado en sistemas agrícolas intensivos (Hansen, 2019). Esta espiral, basada en la mejora tecnológica, la reducción del costo de producción y el aumento del tamaño de las explotaciones agrícolas, explica la creciente concentración de tierras en un número reducido de productores, dado que aquellos que no se suman a la espiral sufren la presión de los precios y los más exitosos se expanden sobre ellos.

Particularmente notable es la percepción extremadamente negativa expresada por los maiceros hacia los fertilizantes distribuidos por el programa gubernamental Fertilizantes para el Bienestar. Los productores beneficiarios expresaron desconfianza sistemática hacia estos insumos, con aseveraciones acerca de su ineficacia, contrastando marcadamente con sus expectativas hacia fertilizantes comerciales. Aunado a ello, reportan el nulo acompañamiento técnico y seguimiento a la implementación de las acciones. Esta percepción sugiere problemas estructurales en la ejecución del programa, que requieren investigación adicional sobre calidad de insumos, adecuación a condiciones locales y la complejidad que implica mantener la congruencia entre la planeación y el desarrollo en territorio de las acciones (Fomati Usman et al., 2025).

Este programa primero era PROCAMPO, pero igualmente estaban los ingenieros, estaban las oficinas, pero ahí nada más. Solo nos notificaban si ya salió un cheque para ir a comprar el abono, pero nunca decían te vamos a ir a revisar como siembras, lo que si nos decían: tienes que sembrar y si no le echaste el abono, te vamos a cobrar lo que se te dio o se te cancela el apoyo. Pero aun así nunca venían, tampoco venían a supervisar si habíamos sembrado o no habíamos sembrado. Había mucha gente que mejor vendía el fertilizante que se les otorgaba. (C.R., comunicación personal, 18 de mayo de 2024).

Mientras los paquetes de Fertilizantes para el Bienestar están presentes en el imaginario colectivo de entrevistados como una mala experiencia, la fertilización orgánica, particularmente la lama de borrego, es ampliamente aceptada y valorada como una excelente alternativa. Los productores maiceros lo consideran una garantía de efectividad, aunque reconocen limitaciones de disponibilidad. Esta percepción favorable hacia insumos orgánicos representa una oportunidad para sistemas de transición agroecológica, consistente con evidencia global sobre preferencias de productores hacia prácticas sustentables cuando estas demuestran eficacia (Zha et al., 2024). En contraste, diversas opiniones de productores de papa coincidieron que no es posible utilizar fertilizante orgánico en el cultivo debido a que este tipo de fertilizante llega a deteriorar la calidad del producto por medio de la proliferación de hongos. No obstante, se ha documentado el uso de ciertos fertilizantes orgánicos para la prevención de enfermedades y plagas en los cultivos de papa (Marpaung et al., 2023).

“El rendimiento de los cultivos aquí depende de la lama que le eche o riegue uno, es cuando vemos que hay rendimiento. Pero si no le echamos no va a haber. Desde hace muchos años hemos notado que es así, se requiere de la lama en el suelo para tener mejor rendimiento. Por eso nosotros ya sabemos que el abono orgánico o la lama es el bueno” (L.E., comunicación personal, 18 de mayo de 2024)

Otro tema relevante abordado en la investigación es el origen del conocimiento agrícola por parte de personas entrevistadas. Los hallazgos en la materia permiten afirmar que entre los entrevistados existen dos fuentes primordiales de acceso al conocimiento: herencia familiar y acceso a asesoría técnica. Dichas fuentes juegan un papel crucial en la selección del modelo de fertilización a seguir. En este sentido, la herencia familiar, presente en 68% de los casos, genera percepciones conservadoras hacia cambios tecnológicos, mientras que el acceso a asesoría técnica promueve percepciones más abiertas hacia innovaciones, esto último destaca en los productores de papa. Sin embargo, cabe destacar que esta dualidad refleja la desigualdad de acceso a asesorías técnicas de los productores maiceros. Muchos agricultores enfrentan dificultades para acceder a estos servicios debido a limitaciones económicas (Morugán-Coronado et al., 2024). Mientras que, la experiencia propia como fuente de conocimiento desarrolla percepciones pragmáticas basadas en observación directa de resultados. Los productores que combinan múltiples fuentes de conocimiento demuestran percepciones más flexibles y adaptativas, sugiriendo la importancia de enfoques integrados en el extensionismo agrícola.

En síntesis, los sistemas de producción agrícola en la microcuenca La Compañía revelan una marcada

diferenciación tecnológica y socioproyectiva que trasciende las simples prácticas de manejo de cultivos. El sistema de producción de papa se caracteriza por su alta intensificación tecnológica, dependencia de fertilizantes químicos especializados, acceso a asesoría técnica y orientación comercial, logrando rendimientos excepcionales, pero generando preocupaciones sobre sostenibilidad económica y ambiental debido a la sobreaplicación de insumos y la creciente dependencia del *treadmill* tecnológico. En contraste, el sistema de producción de maíz mantiene vínculos más estrechos con prácticas tradicionales, integra fertilizantes orgánicos y sistemas informales de intercambio de semillas, aunque enfrenta limitaciones en rendimientos debido a deficiencias nutricionales y acceso restringido a asesoría técnica.

Los sistemas evidencian trayectorias contrastantes: mientras el sistema maicero enfrenta una erosión gradual del conocimiento tradicional heredado por generaciones y una dependencia creciente hacia fertilizantes químicos, el sistema papero se caracteriza por una dependencia estructural de insumos químicos especializados y asesoría técnica externa desde su establecimiento. Esta configuración compleja, donde coexisten estrategias de intensificación moderna con remanentes de prácticas de manejo tradicional, evidencia la necesidad de enfoques integrados que promuevan la sustentabilidad productiva, económica y ambiental en la microcuenca. La participación diferenciada de las mujeres viudas en ambos sistemas, así como las distintas fuentes de conocimiento agrícola (herencia familiar versus asesoría técnica), revelan inequidades sociales que deberán ser combatidas en aras de lograr procesos de mayor sostenibilidad en el campo mexicano.

#### *4.3. Percepciones ambientales*

Los productores muestran una percepción limitada y fragmentada sobre el impacto ambiental de sus fertilizantes. La mayoría no establece una conexión directa entre el uso de fertilizantes químicos y la contaminación ambiental, enfocándose principalmente en los beneficios productivos que estos insumos les proporcionan. Sin embargo, algunos sí manifiestan preocupaciones ambientales específicas, como la contaminación del suelo, la contaminación de ríos por envases de fertilizantes desechados inadecuadamente y el deterioro general del suelo, que requiere cada vez más fertilizantes para mantener los rendimientos. Paradójicamente, mientras algunos reconocen que “el suelo ya no es como antes” y que se necesita aplicar más fertilizante para lograr los mismos resultados, la relación causal entre la intensificación del uso de agroquímicos y la degradación ambiental no es completamente comprendida por la mayoría de las personas, quienes tienden a atribuir los problemas ambientales principalmente a factores climáticos como la sequía y el cambio en los patrones de lluvia, más que a sus propias prácticas de fertilización.

Los impactos en ecosistemas acuáticos por el ingreso de grandes cantidades de fertilizantes no son neutrales socialmente, sino que se distribuyen de manera desigual en el territorio, afectando particularmente a las comunidades rurales que dependen directamente de los recursos naturales para su subsistencia. Los fertilizantes sintéticos han aumentado enormemente la producción de cultivos, permitiendo a los agricultores cultivar más alimentos en menos tierra (Kumar Bhatt et al., 2019), pero este aumento en el uso de fertilizantes ha tenido un costo ambiental significativo, sobre todo en la calidad del agua.

Los productores tradicionales de maíz manifestaron mayor conciencia sobre problemas ambientales locales, con el 95% identificando al menos un problema (principalmente escasez de agua: 34,1%, y erosión del suelo: 13,6%), vinculando sus percepciones con la observación directa de cambios en sus tierras a largo plazo. Notablemente, reportaron erosión severa asociada específicamente al cultivo de papa en pendientes, reconociendo el impacto directo de prácticas intensivas ajenas a su sistema. En contraste, los productores de papa mostraron menor sensibilidad hacia problemas ambientales, con el 18,2% sin percibir ningún problema en la región.

Una minoría de productores establece relaciones causales complejas en sus percepciones ambientales, diferenciando entre causas externas (factores climáticos), causas productivas (prácticas específicas como cultivo en pendientes) y causas sistémicas (cambio climático global). Aunque no generalizada, esta sofisticación en las percepciones de causalidad evidencia la existencia de conocimientos ambientales locales que podrían integrarse efectivamente en estrategias de manejo adaptativo, especialmente si se promueve su difusión entre el resto de productores. Significativamente, 25% de los productores del sistema papero reportó no percibir problemas ambientales en la región, contrastando con la mayor sensibilidad ambiental evidenciada por los maiceros. Esta diferencia en percepciones ambientales entre sistemas productivos sugiere la necesidad de enfoques diferenciados en programas de concientización ambiental que consideren las particularidades de cada sistema.

Por otra parte, los productores entrevistados demuestran clara percepción de vulnerabilidad hídrica, evi-

denciada en estrategias de diversificación de fuentes de agua. Los manantiales son percibidos como fuentes más confiables, aunque con preocupación creciente sobre su reducción. Esta percepción es consistente con datos hidrológicos que documentan reducción de disponibilidad hídrica en la región. La percepción dominante de escasez creciente se manifiesta en expresiones recurrentes sobre cambios en patrones de precipitación. Esta conciencia sobre variabilidad climática representa conocimiento local valioso para estrategias de adaptación, coincidiendo con literatura que reconoce a los productores como observadores privilegiados de cambio climático. Las mujeres productoras (27% del total) demostraron percepciones distintivas, caracterizadas por mayor orientación hacia sustentabilidad y enfoque comunitario. El 100% de las mujeres entrevistadas mencionó la importancia de la capacitación grupal, el 80% reportó uso de compost, y todas enfatizaron en las limitaciones económicas para adquisición de insumos como factor determinante en sus decisiones productivas. Estas diferencias son consistentes con literatura que documenta enfoques más holísticos e integrados en mujeres productoras (Fertő y Bojneč, 2024).

La mayor propensión de mujeres productoras hacia fertilizantes orgánicos y prácticas sustentables sugiere su potencial como agentes de transición agroecológica. Sin embargo, sus percepciones también revelan mayor vulnerabilidad económica, indicando la necesidad de políticas que reconozcan estas diferencias en el diseño de programas agrícolas. El papel de la solidaridad comunitaria y el conocimiento compartido es crucial en el desarrollo de estrategias de adaptación efectivas, que puedan mitigar los impactos del cambio climático en la productividad (Tassigui Sio et al., 2020).

En la Tabla 1 se sintetiza la estructura analítica utilizada para la sistematización de la información obtenida mediante entrevistas semiestructuradas realizadas a productores agrícolas de la microcuenca La Compañía. Se desglosan las principales dimensiones temáticas que orientaron tanto la recolección de datos como su posterior análisis, organizándolas en categorías específicas que permiten la comprensión del fenómeno estudiado. Las dimensiones temáticas fueron construidas a partir de los objetivos de investigación y la revisión teórica previa, abarcando desde las características socioproductivas de los agricultores hasta sus percepciones ambientales y estrategias de manejo. Cada dimensión se descompone en variables específicas que, a su vez, se categorizan según los patrones identificados en los testimonios de los productores, facilitando así la identificación de tipologías y la comparación entre diferentes perfiles de agricultores.

**Tabla 1.** Categorización y sistematización de variables de la investigación.

*Table 1. Categorization and systematization of research variables.*

Variable	Categorías	Sistemas de producción	
		papa	maíz
Perfil del productor	Rango de edad	Entre 29 y 58 años	Entre 34 y 75 años
	Sexo	Mayoría hombres, pocas mujeres viudas	Mayoría hombres, pocas mujeres viudas
	Escolaridad	Predomina educación media y media superior	Predomina educación básica y media
	Superficie cultivada	Rango de 3-47 ha (media 18 ha)	Rango de 0,5-6 ha (media 2,8 ha)
	Tipo de fertilización	Principalmente química, con tendencia a intensificación	Combinación entre química y orgánica
Estrategias de manejo de parcela	Origen de semillas	Compra de distribuidores agrícolas	Intercambio de semillas entre productores
	Origen de fertilizantes	Compra directa privada	Beneficiarios “Fertilizantes para el Bienestar” y compra directa privada
Conocimiento	Rendimiento	Entre 25 y 60 ton ha <sup>-1</sup>	Entre 1,5 y 6 ton ha <sup>-1</sup>
	Origen conocimiento	Con acceso asesoría técnica privada	Herencia familiar e intercambio comunitario
Percepción ambiental	Relación fertilizantes-contaminación	No se percibe relación entre contaminación y fertilización	Se percibe relación entre contaminación y fertilización y se culpa a paperos
	Sensibilidad ambiental	Baja sensibilidad hacia la problemática ambiental	Elevada sensibilidad hacia la problemática ambiental, arguyendo relaciones causales
	Cambios en productividad	Incremento productividad con fertilización química y paquetes tecnológicos	Rendimientos estables con tendencia a reducción productividad

## 5. Conclusiones

El análisis de los sistemas de producción agrícola de maíz y papa en la microcuenca La Compañía revela una compleja diferenciación sociotecnológica que trasciende las prácticas convencionales de manejo de cultivos, configurando dos modelos productivos contrastantes con implicaciones diferenciadas para la sostenibilidad agroecológica regional. Los resultados evidencian una marcada estratificación entre productores de papa y maíz, determinada por factores socioeconómicos estructurales. Los productores de papa, caracterizados por mayor escolaridad, superficies agrícolas extensas y acceso a asesoría técnica especializada, han adoptado un modelo de intensificación tecnológica que genera rendimientos elevados (promedio de 42 ton ha<sup>-1</sup>) mediante la aplicación de fertilizantes químicos especializados, comparables con los estándares nacionales de producción tecnificada. En contraste, los productores de maíz, con menor nivel educativo, superficies de producción reducidas y dependencia de conocimiento heredado, mantienen sistemas productivos tradicionales con rendimientos modestos, pero integrados con prácticas de fertilización orgánica y diversificación económica compensatoria.

Las diferencias identificadas entre ambos sistemas de producción revelan que el sistema maicero tradicional, mantiene mayor diversidad de prácticas, menor dependencia de insumos externos y mayor integración de conocimientos locales. En contraste, el sistema papero tecnificado, pese a su mayor productividad, evidencia vulnerabilidades asociadas a la dependencia química, degradación acelerada del suelo y menor resiliencia ante perturbaciones ambientales.

La investigación documenta un proceso de intensificación química progresiva, particularmente pronunciado en el sistema papero, donde los productores han incrementado las dosis de fertilizantes aplicadas, alcanzando niveles muy elevados de DAP, que exceden las recomendaciones técnicas oficiales. Esta dinámica configura un *treadmill* tecnológico donde el 75% de los productores paperos reporta necesidad de incrementar aplicaciones para mantener niveles productivos, evidenciando una dependencia creciente que compromete la sostenibilidad económica y ambiental del sistema. La sobreaplicación de fósforo no se traduce en incrementos proporcionales de rendimiento, sugiriendo ineficiencias económicas y riesgos ambientales por acumulación de nutrientes.

El sistema maicero mantiene vínculos significativos con prácticas tradicionales, con utilización de fertilizantes orgánicos (lama de borrego, gallinaza, compost) y desarrollo de sistemas informales de intercambio de semillas basados en relaciones sociales de confianza mutua. Esta persistencia del conocimiento tradicional, transmitido principalmente por herencia familiar, representa un patrimonio agroecológico valioso que coexiste con la presión hacia la intensificación química, aunque enfrenta limitaciones por deficiencias nutricionales que explican rendimientos subóptimos.

Los productores demuestran niveles diferenciados de conciencia ambiental, con los maiceros manifestando mayor sensibilidad hacia problemas ambientales locales, como la escasez hídrica y la erosión edáfica, derivada de la observación directa de cambios a largo plazo en sus tierras. En contraste, un porcentaje significativo de productores paperos no percibe problemas ambientales. Las mujeres productoras, principalmente viudas herederas de tierras, demuestran patrones de participación diferenciados según el sistema productivo. En el sistema maicero participan activamente en decisiones sobre fertilización orgánica y conservación de semillas criollas, contribuyendo a la preservación de prácticas ancestrales. En el sistema papero, su participación se concentra en aspectos administrativos y comerciales, delegando decisiones técnicas de fertilización a asesoría especializada, manteniendo los patrones de manejo establecidos previamente.

Los hallazgos revelan una marcada diferenciación entre sistemas tecnificados intensivos y tradicionales en la microcuenca, con escasa interacción entre productores de papa y maíz debido a sus lógicas productivas contrastantes. La valoración positiva de fertilizantes orgánicos entre productores maiceros y la creciente percepción de dependencia química representan ventanas de oportunidad para programas de transición sustentable. Sin embargo, la desigualdad de acceso a asesoría técnica, la presión del *treadmill* tecnológico y la erosión gradual del conocimiento tradicional constituyen obstáculos estructurales que requieren intervenciones integrales. La investigación evidencia que la sustentabilidad agroecológica en la microcuenca La Compañía requiere estrategias integradas que reconozcan las especificidades sociotecnológicas de cada sistema productivo, promuevan la coevolución de conocimientos tradicionales e innovaciones apropiadas, y atiendan las diferencias de género y acceso a recursos que condicionan las prácticas de fertilización y las percepciones ambientales de los productores agrícolas.

Los resultados sugieren la necesidad de políticas agrícolas diferenciadas que reconozcan la heterogeneidad

dad sociotecnológica identificada. Para el sistema papero se requieren programas de optimización nutricional basados en alternativas de fertilización, así como de manejo agronómico que reduzcan la degradación del suelo y a su vez disminuyan las cantidades de aplicación de fertilizantes. Para el maicero es fundamental el fortalecimiento de sistemas de extensionismo que integren conocimientos tradicionales con innovaciones agroecológicas apropiadas, mejorando el acceso equitativo a asesoría técnica sin comprometer la autonomía productiva.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación [SEHECITI] por el apoyo económico otorgado para el desarrollo de la investigación doctoral de la cual se deriva el presente artículo. Asimismo, expresan su reconocimiento al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA] por el recibimiento y las facilidades brindadas durante la estancia de investigación, la cual fue fundamental para la realización de este estudio.

## Contribuciones de los autores

- Aurora Guadalupe Martínez-Ponce: conceptualización, investigación, metodología, recursos, redacción – borrador original.
- Luis Ricardo Manzano-Solís: supervisión, investigación, software, redacción – borrador original.
- Denise Soares-Moraes: validación, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.
- Roberto Franco-Plata: redacción – revisión y edición

## Implicaciones éticas

Los autores declaran que previo a la aplicación de las encuestas semiestructuradas, cada participante otorgó su consentimiento informado de manera voluntaria. Se garantizó la confidencialidad de los datos personales y el anonimato de los participantes en el tratamiento y publicación de los resultados. Dada la naturaleza del estudio, que consistió únicamente en la aplicación de entrevistas semiestructuradas sobre prácticas de manejo de fertilizantes sin intervención experimental ni riesgo para los participantes, no se requirió la aprobación formal de un comité de ética institucional.

## Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

## Referencias

- Anas, M., Liao, F., Verma, K. K., Sarwar, M. A., Mahmood, A., Chen, Z.-L., Li, Q., Zeng, X.-P., Liu, Y., y Li, Y.-R. (2020). Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biological Research*, 53(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s40659-020-00312-4>
- Arce-Estrada, I., Legorreta-Díaz, M. del C., y Castillo-Cruz, R. A. (2025). (Des)empoderamiento de agricultores: riesgos para la salud y el ambiente por plaguicidas altamente peligrosos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41, 137–150. <https://doi.org/10.20937/RICA.55217>
- Aryal, J. P., Sapkota, T. B., Krupnik, T. J., Rahut, D. B., Jat, M. L., y Stirling, C. M. (2021). Factors affecting farmers' use of organic and inorganic fertilizers in South Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51480–51496. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13975-7>

- Bouwman, L., Goldewijk, K. K., van der Hoek, K. W., Beusen, A. H. W., van Vuuren, D. P., Willems, J., Rufino, M. C., y Stehfest, E. (2013). Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900–2050 period. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52), 20882–20887. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012878108>
- Chilón Camacho, E. (2017). “Revolución Verde” Agricultura y suelos, aportes y controversias. *Apthapi*, 3(3), 844-859. <https://doi.org/10.53287/witf8834yv98x>
- Duhalt, A. (2022). *Mexico and the Soaring International Price of Fertilizers*. Rice University’s Baker Institute for Public Policy. <https://www.bakerinstitute.org/research/mexico-and-soaring-international-price-fertilizers>
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2025). *Nonpoint Source: Agriculture*. <https://www.epa.gov/nps/nonpoint-source-agriculture>
- Fertő, I., y Bojneč, Š. (2024). Empowering women in sustainable agriculture. *Scientific Reports*, 14(1), 7110. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57933-y>
- Fomati Usman, T., Christian Apeh, C., y Yuktar Frank, K. (2025). Farmers’ Perception of the Impact of Presidential Fertilizer Initiative Programme (2016-2022) on Crop Production in Wukari, Taraba State, Nigeria. *Journal of Environmental Science and Agricultural Research*, 1–6. <https://doi.org/10.61440/JESAR.2025.v3.44>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2022). *Inorganic fertilizers – 1990–2020*. FAOSTAT Analytical Brief, No. 47. <https://doi.org/10.4060/cc0947en>
- Gomiero, T. (2016). Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. *Sustainability*, 8(3), 281. <https://doi.org/10.3390/su8030281>
- Guignard, M. S., Leitch, A. R., Acquisti, C., Eizaguirre, C., Elser, J. J., Hessen, D. O., Jeyasingh, P. D., Neiman, M., Richardson, A. E., Soltis, P. S., Soltis, D. E., Stevens, C. J., Trimmer, M., Weider, L. J., Woodward, G., y Leitch, I. J. (2017). Impacts of Nitrogen and Phosphorus: From Genomes to Natural Ecosystems and Agriculture. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00070>
- Hansen, H. O. (2019). The agricultural treadmill-a way out through differentiation? An empirical analysis of organic farming and the agricultural treadmill. *Journal of Tourism, Heritage & Services Marketing*, 5(2), 20–26. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3601667>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023). *Censo Agropecuario (CA) 2022*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>
- Jwaideh, M. A. A., Sutanudjaja, E. H., y Dalin, C. (2022). Global impacts of nitrogen and phosphorus fertiliser use for major crops on aquatic biodiversity. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(8), 1058–1080. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02078-1>
- Kumar Bhatt, M., Labanya, R., y Joshi, H. C. (2019). Influence of long-term chemical fertilizers and organic manures on soil fertility - A Review. *Universal Journal of Agricultural Research*, 7(5), 177–188. <https://doi.org/10.13189/ujar.2019.070502>
- Lyu, C., Li, X., Yuan, P., Song, Y., Gao, H., Liu, X., Liu, R., y Yu, H. (2021). Nitrogen retention effect of riparian zones in agricultural areas: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128143>
- Marpaung, A. E., Karo, B., Barus, S., Hutabarat, R. C., y Tarigan, R. (2023). Increasing the quantity and quality of potatoes by utilizing seed size and fish organic fertilizer. *E3S Web of Conferences*, 373, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337303001>
- Martínez-Dalmau, J., Berbel, J., y Ordóñez-Fernández, R. (2021). Nitrogen fertilization. A review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. *Sustainability*, 13(10), 5625. <https://doi.org/10.3390/su13105625>
- Martínez-Salgado, C. (2022). El muestreo en investigación cualitativa. Principios básicos y algunas controversias. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(3): 613-619. [www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/el-muestreo-en-investigacion-cualitativa/principios-basicos-y-algunas-controversias/9129?id=9129](http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/el-muestreo-en-investigacion-cualitativa/principios-basicos-y-algunas-controversias/9129?id=9129)
- Mateo-Sagasta, J., Marjani Zadeh, S., y Turrall, H. (eds.). (2018). *More people, more food, worse water? A global review of water pollution from agriculture*. FAO y IWMI. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca0146en>
- Morugán-Coronado, A., Gómez-López, M. D., Meno, L., Fernández-Calviño, D., Wustenberghs, H., Schra-

- der, S., Bind, D.-A., Pöder, A., Shanskiy, M., Pouta, E., Tienhaara, A., y Calatrava, J. (2024). Fostering sustainable potato production: A collaborative European approach. *Agronomy*, 14(12), 2762. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122762>
- Niggli, U., Sonneveld, M., y Kummer, S. (2023). Pathways to advance agroecology for a successful transformation to sustainable food systems. En J. von Braun, K. Afsana, L. O. Fresco, y M. H. A. Hassan (eds.), *Science and Innovations for Food Systems Transformation* (pp. 341–359). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5_18)
- Pan, S.-Y., He, K.-H., Lin, K.-T., Fan, C., y Chang, C.-T. (2022). Addressing nitrogenous gases from croplands toward low-emission agriculture. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 5(1), 43. <https://doi.org/10.1038/s41612-022-00265-3>
- Penuelas, J., Coello, F., y Sardans, J. (2023). A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447–465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Quitzow, R., Balmaceda, M., y Goldthau, A. (2025). The nexus of geopolitics, decarbonization, and food security gives rise to distinct challenges across fertilizer supply chains. *One Earth*, 8(1), 101173. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.12.009>
- Rentería Ximello, E., Cruz Lázaro, L. M., Bautista Hernández, O., León Vega, D. M., y Banda Ortiz, H. (2024). El impacto del programa Fertilizantes para el Bienestar en la producción agrícola y en la producción nacional de fertilizantes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(5), 13352–13367. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.14790](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14790)
- Sánchez, P. A. (2002). Soil fertility and hunger in Africa. *Science*, 295, 2019–2020. [https://soil5813.okstate.edu/Spring2010/Soil\\_Fertility\\_Africa.pdf](https://soil5813.okstate.edu/Spring2010/Soil_Fertility_Africa.pdf)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. SIAP. [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)
- Stackpoole, S. M., Lindsey, B. D., y Nell, C. S. (2025). *Multidecadal change in pesticide concentrations relative to human health benchmarks in the Nation's groundwater*. Scientific Investigations Report 2025-5081. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/sir20255081>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., y Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Suchkov, D. K., Aygumov, T. G., Rudnev, S. G., y Yu Michurina, N. (2022). The influence of environmental factors on the development of agricultural production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1045(1), 012095. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012095>
- Susanti, Z., Hikmah, Z. M., Sastro, Y., Sasmita, P., y Sembiring, H. (2023). The combined application of organic and inorganic fertilizers to improve fertility of degraded soil and sustainable yield in intensive irrigated rice systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1165(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1165/1/012026>
- Tassigué Sio, S., Djafarou, A., Orou Yorou Basse, G. Y., Guedenon, J., S Akognongbe, A. J., y Atchade, G. A. (2020). Perceptions de la variabilité hydro-climatique et stratégies d'adaptation développées par les agriculteurs et éleveurs bovins des sous bassins versants de la Mékrou et de l'Alibori. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 22(2), 44–59. <https://ijpsat.org/index.php/ijpsat/article/view/2107>
- Touch, V., Tan, D. K. Y., Cook, B. R., Liu, D. L., Cross, R., Tran, T. A., Utomo, A., Yous, S., Grunbuhel, C., y Cowie, A. (2024). Smallholder farmers' challenges and opportunities: Implications for agricultural production, environment and food security. *Journal of Environmental Management*, 370, 122536. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122536>
- U.S. Commercial Service. (2023). *Mexico - Agribusiness*. International Trade Administration. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/mexico-agribusiness>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2024). *World Population Prospects 2024: Summary of Results*. Statistical Papers - United Nations (Ser. A), Population and Vital Statistics Report. <https://doi.org/10.18356/9789211065138>

- Xia, Y., Zhang, M., Tsang, D. C. W., Geng, N., Lu, D., Zhu, L., Igalavithana, A. D., Dissanayake, P. D., Rin-klebe, J., Yang, X., y Ok, Y. S. (2020). Recent advances in control technologies for non-point source pollution with nitrogen and phosphorous from agricultural runoff: current practices and future prospects. *Applied Biological Chemistry*, 63(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s13765-020-0493-6>
- Yousaf, M., Li, J., Lu, J., Ren, T., Cong, R., Fahad, S., y Li, X. (2017). Effects of fertilization on crop production and nutrient-supplying capacity under rice-oilseed rape rotation system. *Scientific Reports*, 7(1), 1270. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01412-0>
- Zeng, F., Zuo, Z., Mo, J., Chen, C., Yang, X., Wang, J., Wang, Y., Zhao, Z., Chen, T., Li, Y., Zhang, Z., Hu, Z., y Xu, H. (2021). Runoff losses in nitrogen and phosphorus from paddy and maize cropping systems: A field study in Dongjiang Basin, South China. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.675121>
- Zha, Y., Liu, A., Lai, W., Wang, J., Li, X., Yu, H., y Xiao, W. (2024). Sheep manure organic fertilizer is an effective strategy to promote strawberry growth by improving soil physicochemical properties and microbiota. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1414010>
- Zhao, G., Zhu, X., Zheng, G., Meng, G., Dong, Z., Baek, J. H., Jeon, C. O., Yao, Y., Xuan, Y. H., Zhang, J., y Jia, B. (2024). Development of biofertilizers for sustainable agriculture over four decades (1980–2022). *Geography and Sustainability*, 5(1), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2023.09.006>