



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**CENTRO ACADÉMICO Y DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS
SOCIALES Y TECNOLÓGICAS DE LA AGROINDUSTRIA Y LA
AGRICULTURA MUNDIAL (CIESTAAM)**

MECANISMOS DE DIFUSIÓN DE DRONES AGRÍCOLAS EN MÉXICO

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Estrategia Agroempresarial

Presenta:

GIULIANI LIZBETH PÉREZ RAMÍREZ

Bajo la supervisión de:

DR. MANRRUBIO MUÑOZ RODRÍGUEZ



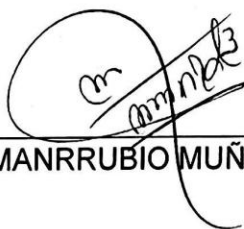
Chapingo, Estado de México a octubre 2025

MECANISMOS DE DIFUSIÓN DE DRONES AGRÍCOLAS EN MÉXICO

Tesis realizada por **GIULIANI LIZBETH PÉREZ RAMÍREZ**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN ESTRATEGIA AGROEMPRESARIAL

DIRECTOR:



DR. MANRRUBIO MUÑOZ RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. ENRIQUE GENARO MARTÍNEZ GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. GILBERTO DE JESÚS LÓPEZ CANTEÑS

ASESOR:



DR. J. REYES ALTAMIRANO CÁRDENAS

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
DATOS BIOGRÁFICOS	IX
RESUMEN GENERAL	X
GENERAL ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Objetivos de la investigación	4
1.2.1. General	4
1.2.2. Específicos	4
1.3. Hipótesis	4
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	5
2.1. Agricultura de precisión (AP)	5
2.2. Drones	6
2.2.1. Aplicaciones de los drones en la agricultura de precisión	9
2.2.2. Limitaciones	13
2.3. Análisis de otras herramientas de mapeo y aplicaciones de productos fitosanitarios en la AP	16
2.4. Políticas públicas	19
3. METODOLOGÍA	21
3.1. Selección de muestra	21
3.2. Recolección de datos	22
3.3. Métodos de análisis	23
3.4. Revisión documental	25
3.5. Diseño de propuesta de política	25

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1.	Contexto del mercado de drones en México.....	26
4.2.	Primera etapa: el nacimiento	27
4.3.	Segunda etapa: maduración (2021-2024)	27
4.4.	Análisis de los modelos de negocio.....	29
4.4.1.	Clasificación de empresas según su rol en el mercado de drones en México.....	29
4.5.	Análisis de casos de estudio	31
4.6.	Análisis transversal de casos.....	54
4.7.	Factores que inducen y aceleran el uso de drones agrícolas en México.....	63
4.8.	Propuesta de una política pública para el uso de drones agrícolas en pequeños productores de México	70
4.8.1.	Incentivos para la adopción y uso seguro de drones agrícolas por pequeños productores (≤ 10 hectáreas), Integrados con Producción para el Bienestar (PpB) y Jóvenes Construyendo el Futuro (JCF).....	70
5.	CONCLUSIONES	92
6.	LITERATURA CITADA	94
7.	ANEXOS.....	101
7.1.	Anexo 1. Instrumento de colecta de entrevistas semiestructuradas a vendedores de drones agrícolas	101
7.2.	Anexo 2. Instrumento de colecta de entrevistas semiestructuradas a prestadores de servicios con drones agrícolas	103
7.3.	Anexo 3. Estimaciones técnicas de implementación	106

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Características de los drones agrícolas	8
Cuadro 2: Lista de factores que restringen la adopción de drones agrícolas ..	14
Cuadro 3: Comparación entre diferentes métodos de fumigación y monitoreo	17
Cuadro 4: Comparación de servicios ofertados por Dis1 y Dis2	39
Cuadro 5: Perfil de empresas analizadas	42
Cuadro 6: Comparativo de métodos de aplicación	47
Cuadro 7: Capas XaaS adaptadas al mercado de drones agrícolas en México	56
Cuadro 8: Problemática percibida por los agricultores.....	63
Cuadro 9: Desglose del financiamiento abordado	90
Cuadro 10: Supuesto de operación por escenarios	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tareas agrícolas realizadas con drones	9
Figura 2: Metodología de estudio de caso múltiple	24
Figura 3: Línea temporal de la creación de empresas del mercado con drones agrícolas en México	31
Figura 4: Red de resistencias y soluciones.....	41
Figura 5: Motivos de emprendimiento.....	44
Figura 6: Modelo de posicionamiento para la adopción de drones	45
Figura 7: Precio del servicio por región.....	46
Figura 8: Modelo híbrido de comercialización VIAD 1	51
Figura 9: Proceso de venta VIAD 2.....	52
Figura 10: Ruta de comercialización y prestación de servicios con drones en México: de la fabricación al cliente objetivo	55
Figura 11: Tendencia trimestral de las Personas Económicamente Activas (PEA) en el sector primario (ENOE 2021-T1- 2025-T1)	64
Figura 12: Comparación del volumen de agua utilizado por diferentes métodos de aplicación de insumos agrícolas	67
Figura 13: Comparación de la exposición de los aplicadores que utilizan drones con dispositivos portátiles	69
Figura 14: Beneficiario de PpB por entidad federativa.....	109

DEDICATORIA

A **Dios**, por brindarme la bendición de la salud, otorgarme el don del entendimiento y la sabiduría, y guiarme en los momentos de dificultad cuando parecía no haber salida.

A mi madre, la señora **Violeta Ramírez**, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable en cada una de mis decisiones, por creer en mis capacidades y por cada palabra de aliento que me ha sostenido, sin importar la distancia.

A mis hermanitas, **María Teresita** y **Águeda de Blas**, mi fuente constante de inspiración para ser una mejor persona. Su amor y sus ocurrencias llenan de alegría mis días.

A mi compañero de vida, **Carlos Martínez**, por su amor inmenso, sus valiosos consejos y su apoyo incondicional durante todo este proceso.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, por abrirme sus puertas una vez más y proporcionarme las herramientas esenciales para alcanzar esta meta académica.

Al **Centro Académico y de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM)**, por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente a través de los conocimientos compartidos y la orientación de su distinguido personal académico.

A la **Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)**, por el invaluable apoyo económico que financió mis estudios y esta investigación.

Al **Dr. Manrrubio Muñoz Rodríguez**, por su guía constante, su apoyo a lo largo de la investigación y sus valiosas contribuciones en la redacción de este documento.

Al **Dr. Enrique Genaro Martínez González**, por compartir sus conocimientos en cada semestre y etapa de la investigación, así como por sus acertados consejos y oportuna retroalimentación.

Al **Dr. Gilberto de Jesús López Canteñs**, por sus observaciones precisas, su tiempo dedicado y su empatía, que enriquecieron este proceso.

Al **Dr. J. Reyes Altamirano Cárdenas**, por su compromiso, tiempo y aportaciones fundamentales que fortalecieron esta investigación.

A las **empresas** que generosamente compartieron sus experiencias y conocimientos, su colaboración fue esencial para esta investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Giuliani Lizbeth Pérez Ramírez nació en Oaxaca de Juárez, Oax. Es licenciada en Administración y Negocios por la Universidad Autónoma Chapingo de la generación 2017-2021, obteniendo el grado bajo la modalidad de mérito académico. Durante sus estudios realizó un intercambio académico en la Universidad Tecnológica del Perú, campus Arequipa en el periodo agosto-diciembre 2019.



Su carrera profesional comenzó en 2021, un mes después de egresar, desempeñándose como auxiliar de Recursos Humanos en la zona Hotelera de Huatulco, Oax. En diciembre de ese mismo año se vuelve asesor en las cabañas “Mi Ranchito” ubicado en la población de San Pedro Juchatengo, Oax., donde asesoraba las actividades de difusión, pago de sueldos y salarios y registro de bitácoras de ingreso y egreso, con la finalidad de mantener la rentabilidad de la empresa.

De agosto de 2023 a mayo de 2025 fue estudiante de la Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial en el Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

RESUMEN GENERAL¹

MECANISMOS DE DIFUSIÓN DE DRONES AGRÍCOLAS EN MÉXICO¹

La agricultura es uno de los pilares fundamentales en la economía global, actualmente enfrenta el doble desafío de producir más alimentos con menor huella ambiental y mayor densidad nutricional, en un contexto de externalidades ambientales generadas por la propia actividad y sumando la escasez de mano en el campo. La agricultura mexicana enfrenta los mismos desafíos, el Censo Agropecuario (2022) identifica la escasez de mano de obra como uno de los principales problemas que enfrentan las unidades de producción junto al cambio climático, los altos costos de insumos. Ante ello la Agricultura de Precisión ha incorporado drones agrícolas que mejoran la eficiencia hídrica y operativa, reducen la deriva, elevan la seguridad del aplicador y mitigan la escasez de mano de obra en la aplicación de insumos. El objetivo fue analizar los mecanismos de difusión y explicar los factores que aceleran la adopción y uso de los drones en México, para formular un diseño de política pública orientada a ampliar el acceso. Se realizaron diez entrevistas semiestructuradas, analizadas bajo el enfoque de estudio de casos. Los resultados identificaron cuatro mecanismos de difusión, dos directos: Importadores (Imp) y distribuidores (Dis) y dos indirectos: Prestadores de Servicios con Drones (PSD) y Vendedores de Insumos Agrícolas con Dron (VIAD); del análisis de estos mecanismos se identificaron tres factores relevantes: escasez de mano de obra, uso eficiente del recurso agua y mitigación del uso de agroquímicos. Un hallazgo clave fue la exclusión de los pequeños productores quienes poseen cultivos con extensión ≤ 10 hectáreas, debido a la falta de rentabilidad. Por ello, se planteó una propuesta donde se prioriza un modelo de maquila con drones siendo un esquema de difusión vía servicios, en lugar de centrarse únicamente en la venta y compra de equipo, a fin de reducir la brecha tecnológica y acelerar una adopción efectiva.

Palabras claves: drones, pulverización, difusión, política pública, agricultura de precisión.

¹ Tesis de maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Giuliani Lizbeth Pérez Ramírez

Director: Dr. Manrubio Muñoz Rodríguez

GENERAL ABSTRACT²

DIFFUSION MECHANISMS OF AGRICULTURAL DRONES IN MEXICO

Agriculture is one of the fundamental pillars of the global economy and currently faces the dual challenge of producing more food with a smaller environmental footprint and greater nutritional density, in a context of environmental externalities generated by the activity itself and compounded by labour shortages in the field. Mexican agriculture confronts the same challenges. The Agricultural Census (2022) has identified labour shortages as one of the main problems faced by production units, along with climate change and high product costs. In response, precision agriculture has incorporated agricultural drones that improve water and operational efficiency, reduce drift, increase applicator safety, and mitigate labour shortages in the application of agricultural inputs. The objective was to analyse the mechanisms of diffusion and explain the factors that accelerate the adoption and use of drones in Mexico, in order to formulate a public policy design aimed at expanding access. Ten semi-structured interviews were conducted and analysed using a case study approach. The results identified four diffusion mechanisms, two direct: Importers (Imp) and Distributors (Dis) and two indirect: Drone Service Providers (PSD) and Drone Agricultural Input Dealers (VIAD). From the analysis of these mechanisms, three relevant factors were identified: labour shortages, efficient use of water resources, and mitigation of exposure to agrochemicals. A key finding was the exclusion of small producers with crops covering an area of ≤ 10 hectares due to lack of profitability. Therefore, a proposal was put forward that prioritises a drone application service model as a dissemination scheme, rather than focusing solely on the sale and purchase of equipment, in order to reduce the technology gap and accelerate effective adoption.

Keywords: drones, spraying, diffusion, public policy, precision agriculture.

² Master of Science thesis in the Agribusiness Strategy Programme,

Universidad Autónoma Chapingo

Author: Giuliani Lizbeth Pérez Ramírez

Advisor: Dr. Manrrubio Muñoz Rodríguez

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es uno de los pilares fundamentales de la economía global, y su eficiencia y sostenibilidad son cuestiones de creciente importancia en un mundo en constante evolución.

La creciente necesidad de alimentos producidos con una menor huella ambiental y con mejor densidad nutricional plantea un desafío significativo en el ámbito global. En la actualidad, la agricultura se enfrenta a desafíos adicionales, incluyendo la escasez de mano de obra, la cual puede atribuirse al envejecimiento de los trabajadores del campo, la falta de interés de la juventud por las labores agrícolas y la migración, entre otros factores (Kim et al., 2019).³

En este contexto, si bien la agricultura convencional ha logrado producir alimentos suficientes y accesibles, genera una serie de externalidades negativas, como degradación de recursos naturales, pérdida de biodiversidad y emisión de gases de efecto invernadero (GEI), amén de entregar alimentos con menor densidad nutricional. Y para agravar la situación, “los fenómenos meteorológicos impredecibles están convirtiendo cada vez más nuestras cosechas en un juego de lotería”.⁴

En este sentido, la Agricultura de Precisión (AP) se presenta como enfoque viable para lograr la producción sostenible de alimentos, ello en virtud de que este enfoque implica **recopilar, procesar y analizar datos** para respaldar las decisiones de gestión de acuerdo con la variabilidad estimada.

Para abordar algunos de estos desafíos, se propone la incorporación de drones agrícolas como una solución, debido a que se han convertido en herramientas que prometen transformar la forma en que los agricultores abordan la gestión de sus tierras y cultivos.

³ En el caso de México, se ha propuesto la implementación de visas de trabajo temporales para ciudadanos centroamericanos como una solución a la escasez de mano de obra, según Luis Fernando Haro Encinas, director del Consejo Nacional Agropecuario (CNA) (Editor_Pxp, 2023)(Editor_Pxp, 2023)(Editor_Pxp, 2023)(Editor_Pxp, 2023).

⁴ Palabras del ministro de Agricultura alemán, Cem Özdemir.

Estos dispositivos desempeñan diversas funciones en la agricultura, como el mapeo de campos, la vigilancia y monitoreo de los cultivos, plagas y enfermedades, la eficiencia de irrigación y la aplicación de plaguicidas, entre otras. Además, ofrecen múltiples beneficios, como la aplicación precisa o localizada, la capacidad de acceder a áreas de difícil acceso, una menor exposición de los aplicadores, ahorro de agua y tiempo, y un aumento en la productividad del agricultor (Asencio, 2020).

Dado que es una tecnología relativamente reciente, contribuye a una modernización de las prácticas agrícolas, especialmente en economías emergentes, al brindar a los agricultores la capacidad de mejorar la eficiencia de sus labores (Puppala et al., 2023).

Este trabajo se centra en *definir los mecanismos de difusión que están induciendo la adopción de drones agrícolas a través del análisis de modelos de negocios creados para impulsar esta tecnología, con el fin de proponer estrategias y políticas públicas que fomenten su mayor utilización.*

1.1. Planteamiento del problema

La agricultura enfrenta una encrucijada crítica: mientras se busca incrementar la producción de alimentos para satisfacer las necesidades de una población en constante crecimiento, también se deben reducir los impactos ambientales negativos asociados a las prácticas agrícolas convencionales. Factores como la escasez de mano de obra, el envejecimiento de los trabajadores rurales y el desinterés de las nuevas generaciones por las actividades agrícolas han agudizado los retos de sostenibilidad en este sector. Además, las externalidades negativas de la agricultura moderna, como la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y las altas emisiones de GEI, ponen en peligro no solo el medio ambiente, sino también la seguridad alimentaria.

En este contexto, los fenómenos climáticos impredecibles amplifican la vulnerabilidad de las cosechas, mientras que la presión por producir alimentos con mejor densidad nutricional y menor huella ambiental exige la implementación de soluciones innovadoras. La AP surge como una respuesta a estas problemáticas, al permitir la utilización de tecnologías avanzadas para optimizar la toma de decisiones y mejorar la gestión de los recursos. Dentro de este enfoque, los drones agrícolas destacan por su capacidad para realizar funciones esenciales, como el monitoreo de cultivos, la detección de plagas y enfermedades y la aplicación precisa de insumos, lo que reduce el desperdicio y maximiza la eficiencia.

Sin embargo, la adopción de drones agrícolas enfrenta barreras importantes, especialmente en economías emergentes. Los altos costos iniciales, la falta de acceso a formación técnica y la ausencia de esquemas de financiamiento adecuados limitan la capacidad de los agricultores para incorporar esta tecnología en sus prácticas. A pesar de sus beneficios potenciales, como el ahorro de agua, tiempo y recursos, el acceso desigual y la falta de políticas públicas que promuevan su implementación, han ralentizado su integración en el sector agrícola.

Por lo tanto, esta investigación tiene el objetivo de *analizar los mecanismos de difusión de los drones agrícolas en México, con la finalidad de exponer los factores que impulsan*

la adopción/uso de los drones en la agricultura mexicana y sustentar el diseño de una política pública dirigida al acceso a la tecnología sin barreras.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. General

Analizar los mecanismos de difusión y explicar los factores que aceleran la adopción y uso de drones agrícolas en México, con el propósito de sustentar una política pública que facilite el acceso a esta tecnología.

1.2.2. Específicos

1. Analizar los mecanismos de difusión que impulsan el uso de drones agrícolas.
2. Identificar y explicar los factores que están induciendo y acelerando el uso de los drones en la agricultura.
3. Desarrollar un diseño de política pública que impulse el uso de drones agrícolas.

1.3. Hipótesis

H1. Los mecanismos de difusión actuales favorecen el acceso al momento de solicitar el servicio de esta tecnología a un prestador de servicios.

H2. La escasez de mano de obra y de agua, junto con el incremento de precios en los productos fitosanitarios impulsan el uso de drones agrícolas, los cuales, al emplear las funciones de mapeo y pulverización, mejoran la precisión, reducen los costos y minimizan el impacto ambiental en la agricultura.

H3. La implementación de políticas públicas adaptadas al contexto agrícola, eliminan las barreras y facilitan el acceso y uso efectivo de los drones agrícolas.

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Agricultura de precisión (AP)

La AP surgió a mediados de la década de 1980; es un concepto holístico de gestión agrícola que tiene como objetivo gestionar los recursos naturales y las variaciones espaciales para satisfacer las necesidades reales de los cultivos (Guo et al. 2018, Jurado-Expósito et al. 2019). Aprovecha las tecnologías modernas para adquirir datos sobre el suelo, el clima y los cultivos, y al utilizar esta información se toman decisiones informadas sobre la siembra, el riego, la fertilización y el control de plagas (Puppala et al. 2023).

La Sociedad Internacional de Agricultura y Precisión (2021) señala que la AP es una estrategia de gestión que recopila, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otra información para respaldar las decisiones de gestión de acuerdo con la variabilidad estimada para mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola.

Ahora bien, desde otra perspectiva, la AP se muestra como una tecnología agrícola avanzada, la cual destaca por su capacidad para aumentar la productividad de los cultivos de manera sostenible mediante la optimización de costos y la eficiencia. Su enfoque se basa en la recopilación de datos de campo, toma de decisiones informadas y una implementación precisa. Además de sus beneficios económicos, la AP contribuye a la reducción del uso de productos fitosanitarios y agua, lo que a su vez reduce el impacto ambiental de la agricultura (Sridhar et al. 2023).

Según Castellanos & Morales (2016), la AP se centra en diversos objetivos, que buscan:

- Optimizar los datos recolectados de la parcela y ponerlos a disposición del agricultor, lo cual le permitirá realizar de manera precisa las labores de fertilización, la siembra y el riego, maximizando el rendimiento en cada área mientras se minimizan los gastos y se promueve un enfoque más sostenible.
- Integrar tecnologías modernas como el GPS, sensores remotos, imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG). Estas herramientas facilitan

la recopilación, análisis y comprensión de las variaciones espaciales para una toma de decisiones informada.

- Administrar los recursos de forma eficiente, permitiendo la aplicación de dosis adecuada de insumos en el sitio y momento precisos.

La AP, al desempeñar un papel crucial en la revolución agrícola, proporciona beneficios notables al definir propiedades y características del suelo para lograr una productividad óptima. A través del eficiente abordaje de desafíos como el uso eficiente de recursos, costos elevados y el impacto ambiental, la AP se distingue por la aplicación de diversas tecnologías. En este contexto, se muestra que la AP implica el empleo de tecnologías apropiadas para mejorar la ubicación, lo que lleva al lugar correcto, aplicar la práctica correcta, momento y cantidad correctos, que permiten a los agricultores ahorrar tiempo, costos y esfuerzos, mejorando la producción y minimizando los impactos ambientales (Guo et al. 2018, Ríos Hernández, 2021).

Aunque la AP se adapta eficazmente al uso de tecnologías para el desarrollo de grandes cultivos, se presentan desafíos significativos, como el elevado costo de la tecnología, lo cual limita su accesibilidad para los pequeños agricultores. Además, se registra un desconocimiento generalizado entre los agricultores, así como una dificultad para encontrar personal capacitado en las cercanías de las propiedades. Es importante destacar la dependencia de sistemas de comunicación eficientes, junto con los costos y la necesidad de especialistas para el mantenimiento y la reparación de equipos computarizados. Estos aspectos requieren consideración en la implementación de la AP (Ríos-Hernández, 2021).

La AP ha dado un paso más allá gracias al desarrollo de sistemas de teledetección basados en vehículos aéreos no tripulados (Rejeb et al., 2022).

2.2. Drones

Los drones, pueden recibir diversas denominaciones según la literatura citada, entre las cuales destacan: VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) por sus siglas en español, UAV

(Unmanned Aerial Vehicle) por sus siglas en inglés, sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) o conocidos popularmente como drones.

Los drones se desarrollaron en un principio con fines militares y de vigilancia, con el objetivo de obtener información estratégica y realizar reconocimiento en áreas de difícil acceso. Actualmente tienen un amplio rango de aplicaciones civiles, como en la gestión de la cadena de suministro, con fines humanitarios, agricultura inteligente, topografía y cartografía, documentación del patrimonio cultural, gestión de desastres y conservación de bosques y vida silvestre (Kim et al. 2019, Rejeb et al. 2022, Tsouros et al. 2019).

Los drones son dispositivos automáticos que pueden volar sin la intervención de un piloto previo ajuste a las condiciones del terreno. Están compuestos por fuselaje, sistema de propulsión, telemetría y comunicación, receptor o control remoto, computador a bordo, sensor de precisión, sistemas de liberación de insumos, batería, cámara o sistemas de imágenes y estación de control en tierra (Ríos-Hernández, 2021).

En referencia a los drones agrícolas que se encuentran disponibles en la actualidad, son dispositivos semiautomáticos que cuentan con un alto potencial para recopilar datos necesarios para una toma adecuada de decisiones oportunas por parte del productor, es decir, lograr una buena planificación agrícola.

Los drones agrícolas han revolucionado la agricultura al reducir las horas de trabajo, aumentar la precisión y la productividad. Son económicos y fáciles de manejar. Sus aplicaciones incluyen la fumigación de insecticidas y fertilizantes, siembra e identificación de malezas, evaluación de la fertilidad, vigilancia y monitoreo de cultivos, plagas y enfermedades, irrigación más eficiente, y aplicación de productos de una forma más segura, dado el menor riesgo de contaminación del usuario y la precisión en áreas de difícil acceso. Además, su uso no implica compactación del suelo (Kim et al. 2019, Mazcorro, 2022).

Utilizar un dron en terrenos agrícolas permite a los agricultores obtener perspectivas aéreas de sus cultivos, generando datos valiosos que se traducen en informaciones relacionadas con la gestión del agua, las condiciones del suelo, y la detección de plagas,

llevando a rocíos de agua y pesticidas en cantidades precisas y ahorrar mano de obra (Rejeb et al. 2022, Puppala et al. 2023, Chin et al. 2023). En el Cuadro 1, se enlistan cinco características a considerar sobre los drones agrícolas.

Como se muestra en la cuarta característica, “manejo”, resulta indispensable contar con personal capacitado para operar el dron, ya que esto ayuda a minimizar los riesgos y a optimizar el potencial. No se puede pasar por alto que el personal no solo debe destacarse en el manejo del uso de dron, sino en todas las facetas que implica la AP, que va desde el conocimiento hasta la utilización de productos fitosanitarios.

Cuadro 1:Características de los drones agrícolas

Características	Detalles
Reducción de horas de trabajo	Los drones reducen el tiempo de labor gracias a que se trazan rutas, manejan velocidades ≈ 2 m/s, altitud ≤ 2.5 m, capacidad de 50 L y autonomía de 10–15 min, lo que permite cubrir 5–8 ha/h. Además, la presión de 1–7 MPa y los volúmenes de aplicación de 46–94 L/ha aseguran una pulverización uniforme y reducen repeticiones.
Precisión y productividad	Aumentan la precisión y la productividad
Costo	Alto costo
Manejo	Requieren personal capacitado para su manejo
Mercado	Se prevé que el tamaño de los drones agrícolas crezca hasta alcanzar unos 32,400 millones de dólares en 2050, lo que presenta aproximadamente el 25% del mercado mundial de drones

Fuente: Elaboración propia con datos de Kim et al. (2019), Rejeb et al. (2022), García-Munguía et al. (2024).

Los drones, al igual que algunas tecnologías nuevas, presentan desventajas que se espera encontrarán solución con el tiempo; entre las principales desventajas se incluyen la eficiencia de la batería, el bajo tiempo de vuelo, la distancia de comunicación y la carga útil (Kim et al. 2019). También, se debe tener en cuenta que existen riesgos como la deriva hacia cultivos no objetivo, cuerpos de agua y transeúntes, contaminación del equipo e interferencia con el control del operador (Mazcorro, 2022).

2.2.1. Aplicaciones de los drones en la agricultura de precisión

La utilización de los drones en la agricultura de precisión ofrece numerosos beneficios, que incluyen el monitoreo minucioso de la cosecha, una optimización en el uso del agua,

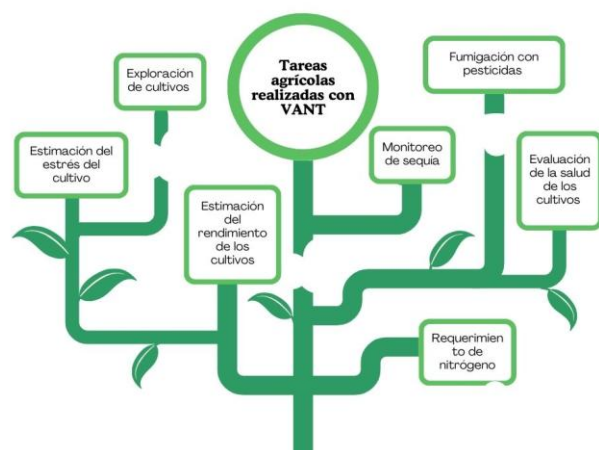


Figura 1: Tareas agrícolas realizadas con drones

Fuente: Elaboración propia con datos de Puppala et al. (2023)

mapeo de grandes terrenos y la aplicación precisa de pesticidas, todo esto a un bajo costo. (Ríos-Hernández, 2021).

La Figura 1, muestra algunas de las tareas agrícolas que se realizan con las diversas aplicaciones de los drones.

▪ **Monitoreo**

Tradicionalmente el monitoreo se llevaba a cabo por humanos, que bien podían ser personas capacitadas (expertas) o que solo se guiaban por conocimiento empírico. Esto resultaba un proceso de monitoreo del cultivo que podía extenderse en el tiempo. Otro método convencional implicaba la aplicación de pesticidas en fechas determinadas, generando un alto costo y aumentando la probabilidad de contaminación del agua subterránea debido a residuos de pesticidas en los productos (Tsouros et al. 2019; Velusamy et al. 2022).

Por consiguiente, la implementación de esta tecnología permite la adopción de una estrategia de manejo de enfermedades centrada en decisiones. Al realizar un monitoreo adecuado, se obtiene información relevante sobre la salud del cultivo, permitiendo la detención oportuna de una posible infección antes de que aparezcan indicadores visuales. Por otro lado, al ser identificada una enfermedad, es necesario realizar un seguimiento a través del monitoreo durante el tratamiento para llevar un control adecuado (Velusamy et al. 2022; Yao et al. 2019).

El monitoreo es una de las funciones principales en la agricultura, ya que su labor principal es supervisar las parcelas; dicha labor se desarrolla cuando el dron captura imágenes que, después de recibir un procesamiento informático adecuado, proporcionan datos precisos sobre diversos aspectos (Rejeb et al. 2022; López-Granados et al. 2016).

El principal uso de los drones en el monitoreo es para supervisar el crecimiento de la vegetación y proporcionar estimaciones sobre el rendimiento. La recopilación periódica de datos y visualización de cultivos utilizando estos amplía las posibilidades para monitorear el crecimiento de la plantación y registrar la variabilidad observada en varios parámetros del área de cultivo (Tsouros et al., 2019).

Ríos-Hernández (2021), destaca los siguientes datos obtenidos después del análisis de las imágenes:

- Nivel de estrés hídrico en los cultivos.
- Deficiencias nutricionales de las plantas.
- Presencia y propagación de plagas, enfermedades y su impacto en los cultivos.
- El estado de desarrollo fenológico de las plantas.

La salud de los cultivos es un factor muy importante que debe ser monitoreado, ya que llegan a presentarse enfermedades en las plantaciones, pudiendo causar pérdidas económicas significativas debido a la reducción del rendimiento y de la calidad. Los cultivos deben ser monitoreados constantemente para detectar enfermedades a tiempo y evitar problemas de propagación (Tsouros et al., 2019).

Al realizarse un análisis preciso de la información obtenida mediante el monitoreo, el agricultor tendrá la capacidad de aplicar dosis precisas de insumos, como fertilizantes y plaguicidas, tanto de síntesis química como de origen biológico, ajustándolas a las necesidades específicas del cultivo y solo en las áreas necesarias.

La optimización del uso de agroquímicos no solo implica ahorros económicos y de tiempo, sino que también beneficia al medio ambiente. La monitorización constante también

permite vigilar de cerca los recursos hídricos y la administración de nutrientes (Ríos-Hernández, 2021).

- **Mapeo**

Los drones pueden recopilar imágenes y obtener datos de todo el campo que pueden usarse para generar un mapa preciso de cobertura de malezas. Este mapa revela las áreas donde se necesita la aplicación de algún producto fitosanitario, al mismo tiempo indica la cantidad en la cual debe aplicarse, ya sea a mayor cantidad, en menor cantidad, o bien, no aplicar en lo absoluto (Tsouros et al., 2019).

Lo anterior es posible en virtud de que estos dispositivos están equipados con diferentes sensores que registran la energía reflejada en varios rangos espectrales. Además, tienen la flexibilidad de volar a distintas alturas (la altitud de vuelo es un parámetro importante que se debe tener en cuenta en el momento de adquirir imágenes), lo cual permite ajustar la resolución espacial de acuerdo con el objetivo de la planificación de la misión, considerando las características y necesidades específicas del cultivo (Jurado-Expósito et al. 2019;Gómez-Candón et al. 2014).

Los drones tienen la capacidad de usar la cámara en el momento adecuado y repetir en el momento si las imágenes presentan algún error (Gómez-Candón et al. 2014).

Se requiere de un software para el procesamiento de mapas y un profesional para la interpretación de estos. Los mapas elaborados con drones pueden ser en formato 2D o 3D, y proporcionan información valiosa sobre el campo agrícola mapeado. Aspectos como la extensión de tierras de cultivo, las condiciones de suelo y el estado de los cultivos se pueden aprovechar para optimizar la eficiencia. Además, permiten rentabilizar las tareas de AP, como el control agronómico de zonas homogéneas y la separación de calidad de fruta (Nex & Remondino, 2014; Kim et al. 2019) .

- **Aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios**

Los drones utilizados para la aplicación de productos fitosanitarios permiten una mayor precisión y eficiencia en comparación con los métodos tradicionales. Esto se debe a que

el vuelo se puede ajustar a medida de las plantas, lo que permite una aplicación más precisa (Ríos-Hernández, 2021), así como a la velocidad, carga útil y número de boquillas utilizadas para la pulverización (Velusamy et al., 2022) .

Según Kim et al. (2019), un dron puede minimizar el uso de pesticidas gracias a su sistema de aspersión, en particular a la precisión de las boquillas. Lopes et al. (2023), demostraron que la selección adecuada de boquillas disminuye la deriva, los drones de última generación son capaces de cubrir hasta 24 hectáreas por hora en condiciones favorables, lo que agiliza las aplicaciones en superficies extensas superando el tiempo de métodos convencionales (Guebsi et al., 2024).

De acuerdo con lo anterior, la tarea de aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios es una herramienta eficaz y rápida, con el potencial de hacer el proceso óptimo y eficiente, lo cual reduce el contacto humano con los insumos, reduce el tiempo y los gastos, y la necesidad de emplear mano de obra Yao et al. 2019; Velusamy et al. 2022)

La fumigación de cultivos es particularmente importante en los casos donde se han identificados enfermedades y en los cuales es importante reducir el uso de pesticidas sin afectar el rendimiento de los cultivos.

▪ **Siembras**

La siembra con drones se vuelve viable gracias a una nueva tecnología aún no muy extendida, pero que algunas empresas ya están probando. La difusión de semillas y productos sólidos con UAV ya opera con buenos resultados en escenarios controlados y pilotos de campo. En hardware, se han diseñado y optimizado dosificadores de rueda ranurada específicos para drones que entregan caudales estables y controlables para siembra/fertilización, con baja variabilidad en pruebas de banco, lo que mejora la precisión del voleo aéreo (Zhang et al. 2024). Desde el ámbito agronómico, la uniformidad en la dispersión de insumos se incrementa al optimizar el flujo de aire en los sistemas de distribución, lo que reduce el coeficiente de variación y mejora la aplicación espacial de semillas y fertilizantes (Wang et al. 2023). Estos avances apuntan a reducciones de

tiempo y demanda de mano de obra frente a métodos terrestres, reforzando la viabilidad operativa de la siembra con esta tecnología y de la aplicación de productos sólidos en condiciones adecuadas de diseño del equipo y calibración en campo.

2.2.2. Limitaciones

Aunque los drones han demostrado un gran éxito en aplicaciones agrícolas, en economías emergentes se enfrentan a restricciones que limitan su aceptación por parte de los agricultores. Una parte se le atribuye a la edad, debido a que los agricultores tradicionales se inclinan más hacia las prácticas convencionales (Puppala et al., 2023).

Dentro de las limitaciones para la adopción de esta tecnología (Cuadro 2), es vital reconocer que la mayoría de los agricultores carecen de una formación técnica y de los recursos financieros necesarios para adquirir este tipo de dispositivos que se catalogan como altas tecnologías (Sridhar et al., 2023). Superar estos desafíos resulta esencial para avanzar en la adopción y evolución de la tecnología en la agricultura.

Además, es importante considerar las condiciones del lugar donde se quiere implementar, que van desde ubicación geográfica hasta las ideologías de acuerdo con la cultura, a ello se agrega la seguridad, misma que en ocasiones puede representar un riesgo para personas y animales.

Cuadro 2: Lista de factores que restringen la adopción de drones agrícolas

Categoría	Factor impeditivo	Relevancia
Técnico	Conectividad a internet	El acceso a la conectividad a internet es imperativo para diversas operaciones, incluida la actualización del firmware, verificar si el sitio de implementación está dentro de la zona de vuelo según las regulaciones, la planificación de vuelo en el sitio desde los mapas base disponibles.
	Tiempo de vuelo	Los drones convencionales presentan una limitación en su autonomía de vuelo, determinada principalmente por la capacidad y duración de las baterías.
	Peso de carga útil	La adaptabilidad de los drones se ve obstaculizada principalmente por su capacidad de carga. Este desafío es excepcional en el caso de la adopción de la tecnología especialmente para la pulverización de fertilizantes.
Social	Infringir la privacidad	El despliegue de los drones sobre otras parcelas o edificios puede ser no aceptable para todos los residentes de la comunidad, ya que el movimiento de estos puede hacer que los residentes actúen de manera cautelosa, ya que los drones son conocidos por su uso en el monitoreo y vigilancia.
	Amenazas	Si se estrellan dentro de edificios, podrían dañar a los habitantes, a los animales y a la propiedad. Los habitantes de la comunidad pueden experimentar contaminación acústica durante el vuelo de los drones debido a las hélices que giran a altas velocidades.
Conductual	Conciencia	La falta de conocimiento subjetivo impide comprender sus beneficios.
	Miedo al desempleo	La intervención de sistemas autónomos en cualquier sector puede sustituir la necesidad de mano de obra, lo que en consecuencia crea miedo al desempleo, ya que la agricultura es la ocupación principal en las zonas rurales.

Operacional	Mano de obra calificada	El despliegue del dron requiere un conjunto de habilidades y capacitación necesarias para obtener una comprensión integral de la regulación y las directrices sobre drones que faltan entre los agricultores.
	Parámetros meteorológicos	Las condiciones climáticas regionales controlan el despliegue de los drones.
	Zonas de vuelo	Cada país ha clasificado las regiones en zonas de vuelo y de no vuelo según sus propias normas y directrices específicas de cada uno. Si una granja agrícola se encuentra cerca de los lugares restringidos, puede caer dentro de una zona de no vuelo, lo que hace que el despliegue sea un desafío.
Desafíos económicos	Alto costo de mantenimiento	Dado que la tecnología se encuentra en etapas incipientes, el costo de mantenimiento involucrado es relativamente alto.
	Costo de mano de obra	Dado que la disponibilidad de mano de obra calificada es limitada, el capital involucrado en la contratación de un profesional es relativamente alto.
	Alto costo de inversión	El costo de capital involucrado en la adquisición no es asequible.
Implementación	Política y regulaciones	Las normas existentes sobre drones, además de garantizar la seguridad, también impiden su amplia adopción debido a las restricciones establecidas como parte de las directrices.

Fuente: Puppala et al (2023)

2.3. Análisis de otras herramientas de mapeo y aplicaciones de productos fitosanitarios en la AP

En la AP existen diferentes formas y máquinas para realizar tareas del campo como son las aplicaciones de productos fitosanitarios, mapeos, riego, etc.

Antes de la llegada de los drones, se solían utilizar mochilas pulverizadoras versátiles y económicas, presentándose como una alternativa de “bajo costo”. Igualmente se utilizaron y siguen utilizando los tractores equipados con sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores y software de mapeo que pueden realizar actividades específicas con una precisión milimétrica, como la siembra, la aplicación de fertilizantes y pesticidas y la cosecha. Sin embargo, en comparación con los drones, su eficiencia es menor, lo cual se refleja en el uso excesivo de pesticidas y agua (Guo et al., 2018; Nowak, 2021; Quan et al., 2023).

El Cuadro 3, muestra las diferencias y similitudes del uso de drones, satélites, mochilas pulverizadoras, tractores y aviones. Dentro de los aspectos a destacar, los drones pueden obtener imágenes de alta calidad a precios bajos en comparación con los satélites y aviones. De igual manera, permiten adquirir imágenes con una mayor resolución en días totalmente nublados, a diferencia de los satélites y aviones, los cuales requieren encontrarse a grandes altitudes, penetrar nubes, etc. (Ríos-Hernández, 2021; Wachenheim et al. 2021).

Cuadro 3: Comparación entre diferentes métodos de fumigación y monitoreo

Característica	Dron	Satélite	Mochila pulverizadora	Tractor	Avioneta
Autonomía	Necesita un operador	Autónomo	Necesita un operador	Necesita un operador	Necesita un operador
Accesibilidad	En zonas planas, de fácil y difícil acceso	Todo tipo de relieve	En zonas planas y de fácil acceso	En zonas planas y de fácil acceso	Depende de las características del relieve
Escalabilidad	Medianos y pequeños campos	Cubre áreas grandes y pequeñas	Se usa en cualquier tamaño del campo	Se usa en cualquier tamaño del campo	Cubre áreas grandes y medianas
Limitaciones	Restricción de vuelo por duración de batería y condiciones meteorológicas desfavorables	Sin restricciones de datos del terreno, mientras el terreno esté alejado de zonas militares u objetos estratégicos	Capacidad de almacenaje, a pesar de que pueden existir grandes mochilas las personas soportan hasta un límite 15 kg de peso	Dependencia del estado del terreno	Falta de precisión y condiciones climáticas

Dependencias en las condiciones climáticas	No puede usarse con rachas fuertes de viento o fuerte lluvia	Pérdida parcial de datos debido a la cobertura del terreno	No pueden usarse en lluvias fuertes y en pendientes muy pronunciadas	No pueden usarse en caso de inundaciones	No pueden usarse con rachas fuertes de viento, lluvia o nevadas
Precio de uso	Depende del tiempo de operación	Depende del terreno a monitorizar	Depende del sueldo del recurso humano	Depende del tiempo de operación	Depende del terreno a monitorizar
Complejidad de interpretación de datos	Requiere un análisis adicional por parte de un especialista	Suele procesarse en plataformas de agricultura en línea	No necesita procesar datos	Requiere un análisis adicional por parte de un especialista	Utilizan software para el procesamiento de datos y requiere un especialista

Fuente: Elaboración propia con datos de Tecmuindo (s.f.), (Advexure, (2025), Caputti et al. (2025)

2.4. Políticas públicas

Una política pública puede ser definida como la acción deliberada del Estado para corregir o modificar una situación social o económica que ha sido identificada como un interés colectivo. Muñoz et al (2018), señalan que las políticas públicas son un conjunto de decisiones de carácter público que conllevan un proceso que va desde el establecimiento de la problemática a resolver, hasta su procesamiento y conversión en decisiones de autoridad por la vía que marcan las reglas del funcionamiento del sistema político. Las políticas públicas florecen con resultados de la convergencia de una corriente que identifica problemas, analiza y plantea opciones de solución.

Se trata de decisiones tomadas por los órganos ejecutivos o representativos del Estado y no por los particulares. Presentan un enfoque de gobernanza multinivel el cual explica cómo se distribuyen las competencias entre la federación, los estados, municipios, y cómo bajo este esquema se condiciona tanto el diseño como la implementación de dichas políticas (Merino, 2013; (Allain-Dupré, 2020).

Cada política pública con intención de ser ejecutada debe ser pensada y construida como si fuera una artesanía, pues cada problema público posee características únicas que demandan cursos de acción específicos, lo que implica reconocer la complejidad inherente de los problemas sociales y económicos de manera que la formulación de la política no siga un diseño estándar, si no que se adapte al problema público que se busca atender (SMEM, 2023).

Si bien las políticas públicas son un medio para enfrentar problemas que ameritan intervención del Estado, no deben considerarse soluciones absolutas. De ahí la importancia de distinguir entre las Ciencias Políticas y las Ciencias de las Políticas. Mientras la primera estudia las relaciones de poder, los procesos electorales y los conflictos entre gobierno y sociedad civil, la segunda se centra en las políticas (*policies*) como conjunto de acciones, decisiones y omisiones de los actores involucrados en los asuntos públicos. A su vez, una política específica se entiende como un conjunto delimitado de intervenciones diseñadas para

atender un problema concreto. Así, las políticas públicas representan un entramado de relaciones de poder que se manifiestan en el curso de acción gubernamental a través de la interacción con la sociedad, como ocurre en programas de apoyo dirigidos a mitigar carencias en la población (SMEM, 2023; Jenkins-Smith et al., 2018; SGCD, 2022).

En consecuencia, las políticas públicas tienden a ser algo más complejo que un programa o una acción gubernamental, ya que atiende el problema que aqueja a la sociedad, lo analiza, para generar soluciones integrales orientadas a mitigar o erradicar problemas sociales. Por ello, no se pueden ver como un proceso lineal ya que abarcan un ciclo de vida el cual tiende a ser variado en cada etapa (Valle-Cruz et al., 2020). Como señala Head (2021, p.138) “la calidad de una política pública depende no solo de su diseño técnico, sino de su capacidad para adaptarse a contextos cambiantes y responder a las demandas sociales con legitimidad”.

En México las políticas públicas han experimentado transformaciones significativas a lo largo de cada sexenio. En los últimos años se han orientado hacia enfoques más integrales y con énfasis en el bienestar social, siendo así el plan nacional de desarrollo 2025-2030 que establece como ejes prioritarios el bienestar, la sostenibilidad y el humanismo, apostándole a políticas públicas integrales y con enfoque territorial (Galindo, 2022; Bienestar, 2025)

3. METODOLOGÍA

En este apartado se describe la metodología utilizada en la investigación, la cual se basa en un enfoque cualitativo, el cual permite explorar a profundidad las perspectivas de los actores involucrados, así como comprender las dinámicas diversas que influyen en la adopción de drones agrícolas en México.

La metodología se divide en dos apartados: en el primero se muestra el proceso de muestreo, recolección de datos, método de análisis, justificación del método de análisis y ejes de estudio. En el segundo se realiza una revisión documental y análisis de datos específicos del tema con relación a los factores que influyen en la adopción de drones a partir de entrevistas semiestructuradas.

3.1. Selección de muestra

Se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia dado que facilita la selección de casos disponibles dispuestos a colaborar, basándose en la accesibilidad y cercanía de los sujetos con respecto al investigador. Además, este tipo de muestreo ofrece ventajas cuando el acceso a la muestra se ve limitada, ya que es una técnica práctica y rentable en cuestión del tiempo requerido para la obtención de los datos y la facilidad de su recolección (Pace, 2021; Otzen & Manterola, 2017).

Con el fin de establecer contacto inicial, se enviaron correos electrónicos a quince empresas activas en el mercado de drones agrícolas en México donde se les invitaba a participar en entrevistas semiestructuradas como parte del estudio. De esas quince, cinco respondieron afirmativamente aceptando participar. Otras cinco fueron contactadas de manera indirecta a través de egresados del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, quienes facilitaron los enlaces y gestionaron la comunicación con los representantes de estas.

En total participaron diez empresas en el estudio, representando diferentes segmentos del mercado, lo que permitió un análisis más amplio de los roles desempeñados en la adopción de drones agrícolas en México.

3.2. Recolección de datos

La información se recolectó mediante entrevistas semiestructuradas realizadas entre junio y noviembre de 2024, de las cuales ocho se realizaron de manera virtual mediante la aplicación de videoconferencias Google Meet y dos se llevaron a cabo de manera presencial.

Se utilizaron dos instrumentos de colecta, el primero (Anexo 1) dirigido a empresas dedicadas a la distribución y venta de drones agrícolas y constó de seis apartados: a) identificación de la empresa, b) identificación de la persona responsable de responder la entrevista, c) historia y objetivos de la empresa, d) conocimientos, e) estrategias de ventas y servicio al cliente y, f) colaboración con instituciones educativas.

El segundo instrumento (Anexo 2) se aplicó a prestadores de servicios con drones e incluyó diez apartados: a) identificación de la empresa, b) identificación de la persona responsable de responder la entrevista, c) introducción y contexto de la empresa, d) conocimiento y uso de drones agrícolas, e) servicios ofrecidos y procedimientos, f) operaciones y seguridad, g) gestión de datos y análisis, h) clientes y casos de éxito, i) competitividad y futuro, j) colaboración con instituciones educativas. Este instrumento se modificó debido a que se encontraron dos casos particulares en los cuales la maquila con drones es un complemento de la actividad principal, razón por la cual se agregaron preguntas enfocadas a su principal actividad de negocios: la venta de agroquímicos para un caso y fertilizantes para el otro.

El diseño de estos instrumentos permitió obtener equilibrio y claridad, evitando exceder dos horas establecidas por los entrevistados como límite de duración de la entrevista, y garantizó la precisión de los datos necesarios para el estudio de caso.

3.3. Métodos de análisis

Una vez que finalizó la recolección y sistematización de las entrevistas semiestructuradas, se utilizó un enfoque de estudio de casos múltiples para llevar a cabo el análisis.

Se optó por este enfoque porque facilita la integración y comparación de datos cualitativos y, en caso de ser necesario, permite integrar datos cuantitativos, lo que facilita la comparación entre diversas perspectivas y prácticas empresariales, permitiendo identificar patrones comunes y diferencias significativas. Este diseño resulta útil cuando se busca analizar en profundidad fenómenos complejos dentro de su contexto real, facilitando la comparación entre diferentes casos para identificar patrones comunes y diferencias significativas (Ponce, 2018).

El diseño de casos múltiples sigue una lógica estructurada en la que cada caso debe seleccionarse cuidadosamente para cumplir con una de las siguientes condiciones:

- a) Generen resultados similares (una réplica exacta) o
- b) resultados constantes por razones previsibles.

En términos metodológicos, si se estudian dos o tres casos individuales, se esperan resultados similares, lo que según Yin (2018) es conocido como réplicas literales; mientras que al incluir cuatro a seis casos que cuentan con características distintas, da como resultado patrones distintos o resultados contrastantes también llamados réplica teórica. Y finalmente, de seis a diez casos resultarían patrones más robustos. Para realizar este análisis, se utilizó la metodología propuesta por Robert K. Yin en su libro *Case study research and applications* (Figura 2). Las empresas analizadas se identificaron como: Importadores (Imp), Distribuidores (Dis), Prestador de Servicios con Drones (PSD) y Vendedor de Insumos Agrícolas integración de Drones (VIAD), garantizando su confidencialidad y mostrando su relevancia en el mercado de drones agrícolas en México.

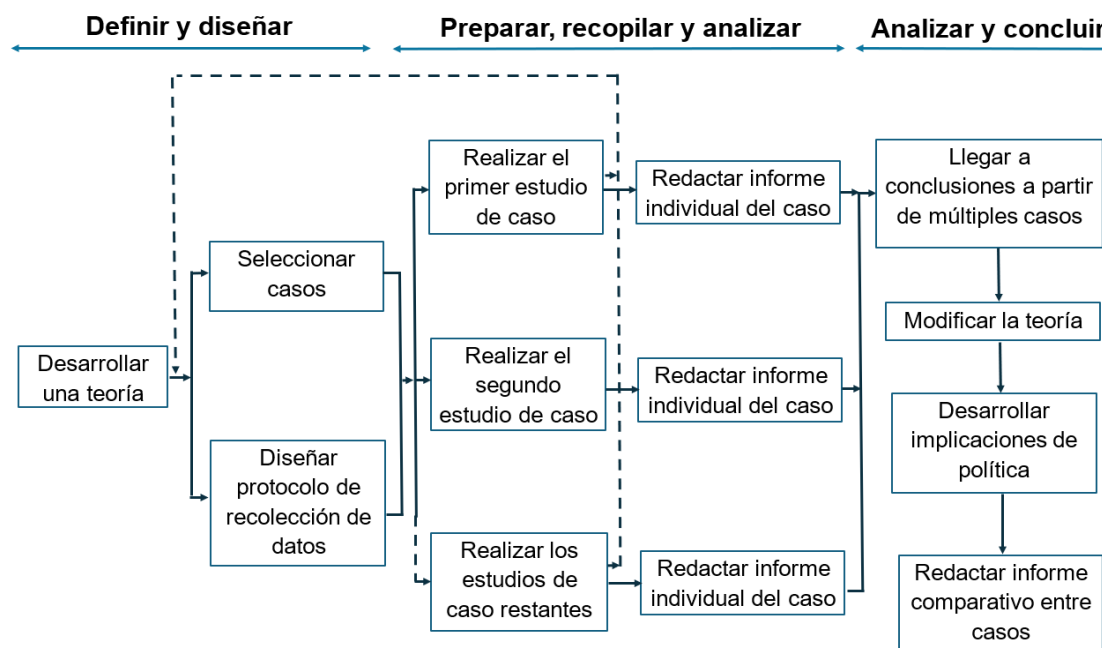


Figura 2: Metodología de estudio de caso múltiple

Fuente: Yin (2018)

En el análisis transversal de casos, se hace uso del marco “Todo como Servicio” (Everything as a Service por sus siglas en inglés XaaS), originado en la industria de software a inicios del siglo XXI. Este concepto tiene antecedentes en las variantes del servicio Software como servicio (SaaS) en 1999, seguido de la infraestructura como servicio IaaS y plataformas como servicio (PaaS) (Systemiq, 2021; IBM, 2024; Laudal, 2025). En dicho marco los proveedores retienen las propiedades de los activos, es decir el contrato de venta de productos se sustituye por contratos de servicios (alquiler, arrenda o licencia a clientes) (Laudal, 2025). Este modelo de negocio es la combinación de una oferta integral y facturación por uso, lo cual se traduce en el proceso de transformare productos en servicios integrales (Schöllhammer et al., 2023). Por tal descripción es usado en el análisis de empresas para analizar como las empresas avanzan de ventas tradicionales a modelos de servicios, proponiendo la aplicación de XaaS en la agricultura.

3.4. Revisión documental

Para complementar los mecanismos de difusión de drones en México, se llevó a cabo una revisión documental que permitió darle un mayor sustento. Se consultaron fuentes oficiales como la Encuesta Nacional Agropecuaria (2014, 2017 y 2019) y el Censo Agropecuario (2022) del INEGI, con el objetivo de obtener datos sobre la situación actual del sector agrícola en México, particularmente en temas de escasez de mano de obra y costos de los insumos agrícolas.

Asimismo, se revisaron artículos científicos con la finalidad de reforzar cada hallazgo; de esta manera el análisis documental complementó la información obtenida en las entrevistas, brindando una perspectiva integral sobre la adopción de drones en la agricultura mexicana.

3.5. Diseño de propuesta de política

En este apartado se presenta la propuesta de una política pública, cuya formulación se deriva de los hallazgos de los dos apartados previos, ello con la finalidad de impulsar el acceso a los drones agrícolas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de las entrevistas realizadas a diez empresas presentes en el mercado de drones en México. Los resultados se desarrollan a lo largo de ocho subtemas (4.1 a 4.8), los cuales se agrupan en tres apartados principales, cada uno correspondiente a los objetivos específicos planteados. El primer apartado (4.1 a 4.6) aborda el análisis de los mecanismos de difusión que impulsan el uso de drones agrícolas; el segundo (4.7) identifica y explica los factores que inducen y aceleran su uso en la agricultura; y el tercero (4.8) presenta la propuesta de política pública orientada a fomentar su uso y adopción.

4.1. Contexto del mercado de drones en México

El actor que lidera el mercado de los drones a nivel mundial y nacional es la empresa de origen chino conocido como DJI, cuya cuota de mercado asciende al 74,3 %, seguido de Parrot, Autel Robotics y Ehang (<https://www.thedroneu.com>). En 2019 surgió el primer importador de drones fabricados por la empresa líder, el cual se consolidó rápidamente como uno de los mayores actores del mercado, destacándose tanto por su capacidad operativa como por su estatus de distribuidor. En 2020, se incorporó un segundo importador, cuya presencia en el mercado fue más breve, limitándose a partir de 2022 a ofrecer únicamente servicios de maquila para drones.

Hasta el 2021 las empresas conocidas como distribuidores autorizados no contaban con una asignación territorial para vender. Sin embargo, por su ubicación estratégica, una de ellas dominaba parte del sur del país, mientras el otro tenía una mayor influencia en el norte. La falta de segmentación territorial, aunque aparentemente inofensiva, fomentó una competencia directa entre los distribuidores, llevando los precios a niveles muy bajos y ocasionando pérdidas entre los vendedores de esta nueva tecnología agrícola. Ante un incremento de distribuidores y vendedores autorizados a lo largo del 2022, DJI propuso realizar una división territorial, quedando el país dividido en cinco zonas comerciales, siendo la zona sur la más grande (Sánchez Aguirre, 2025).

En paralelo, la marca XAG ingresó al mercado mexicano en el 2022 como un competidor directo de la marca DJI. Al estudiar el mercado y conocer las fallas estratégicas de sus predecesores, XAG adoptó un enfoque más estructurado, evitando errores similares. La marca nombró un distribuidor autorizado, asegurando así una operación más controlada y sostenible desde el punto de vista comercial y operativo.

En términos generales, se pueden ubicar dos grandes etapas en el proceso de introducción y adopción de los drones agrícolas en México, a saber:

4.2. Primera etapa: el nacimiento

En esta etapa se vive el nacimiento de empresas distribuidoras y vendedoras de drones agrícolas. En 2019 surge la primera empresa vendedora de drones, que con el paso del tiempo logró consolidarse en uno de los tres importadores autorizados por la marca DJI en México, desempeñando múltiples roles dentro del mercado: distribuidor autorizado, vendedor de drones agrícolas (pulverización) y mapeo (fotogrametría), proveedor de asistencia técnica y, a partir de 2024, inicia sus pruebas con operaciones de maquila de drones.

PSD1 comenzó actividades en 2020, tuvo una trayectoria diferente. Inicialmente jugó un rol parecido a la empresa importadora, pero para 2022 y debido a cambios internos en la empresa, se limitó exclusivamente a la maquila de servicios, donde se posicionó como líder en la región norte del país.

Este periodo enfrentó desafíos significativos debido a la resistencia inicial de los agricultores mexicanos hacia los drones agrícolas. La incorporación de esta tecnología requirió superar barreras culturales relacionadas con las prácticas tradicionales y el desconocimiento de los beneficios que ofrecían los drones.

4.3. Segunda etapa: maduración (2021-2024)

Entre 2021 y 2024 el mercado de drones agrícolas experimentó la fase de maduración caracterizada por la consolidación de actores clave y la diversificación de los roles desempeñados en la cadena valor de este mercado.

De acuerdo con los datos obtenidos en campo, en 2021 iniciaron operaciones las empresas Imp1 y PSD2, marcando el comienzo de una nueva etapa de expansión en el mercado. Posteriormente, en 2022 se incorporaron Imp2, Dis2, PSD3 y PSD4, consolidando una presencia más diversificada de actores. Para 2023, se sumó VIAD1, mientras que en 2024 se integró VIAD2, ampliando aún más el alcance del mercado.

Un fenómeno destacable es la adopción del modelo VIAD, que representa una innovación significativa en el sector agrícola. Este modelo se caracteriza por integrar esta tecnología como un valor agregado a su actividad principal.

Gracias a este enfoque, se han logrado mejoras significativas en la producción agrícola, ya que los productores pueden tomar decisiones informadas basadas en datos precisos, reduciendo desperdicios y maximizando la eficiencia de sus recursos.

A mitad de 2024 ocurrió un evento relevante, la demanda de los drones agrícolas y el servicio de maquila aumentó significativamente debido a las condiciones climáticas con lluvias intensas registradas en los meses de junio, julio y agosto. Con este evento la tecnología demostró ventajas competitivas al permitir aplicaciones de insumos agrícolas incluso en suelos húmedos. A pesar de este evento, el mercado permaneció en una fase de maduración, aunque con esquemas de negocio cada vez más diversificados. Esta diversificación se evidencia en la incorporación de nuevos modelos de negocio y en la mejora del esquema de ventas gracias a la segmentación territorial mencionada anteriormente. Estas estrategias han permitido a las empresas ampliar sus capacidades operativas y ajustarse de manera eficiente a las crecientes demandas del mercado, consolidando su posición en el sector y promoviendo un crecimiento sostenido.

4.4. Análisis de los modelos de negocio

4.4.1. Clasificación de empresas según su rol en el mercado de drones en México

A partir de la información obtenida mediante las entrevistas realizadas a las diez empresas, se identificaron cuatro mecanismos de difusión:

1. Importadores directos de drones (Imp)

Se engloban aquellas empresas que se encargan de importar drones agrícolas desde el extranjero, principalmente desde China. Su principal rol es facilitar la entrada de drones al mercado local, encargándose de la logística y del cumplimiento de las regulaciones necesarias para la importación. Sus clientes principales son distribuidores de drones, grandes empresas agrícolas, productores y el gobierno.

Para tener esta categoría se deben cumplir los requisitos que especifican las marcas, las cuales van desde ir a tomar un curso al país donde se encuentra la matriz, para posteriormente tener un certificado y con ello el rol de importador.

Actualmente se encuentran tres empresas con el permiso y certificación otorgada por DJI para figurar como distribuidores de drones agrícolas, es decir, son los únicos que importan los drones agrícolas de esta marca. Mientras que la marca XAG cuenta con un solo distribuidor autorizado.

2. Distribuidores (Dis)

Estas empresas están especializadas en la venta de drones destinados a aplicaciones agrícolas. Estas compañías están estratégicamente distribuidas a lo largo del territorio nacional y adquieren los drones directamente de los importadores. Además de la venta de drones, estas empresas ofrecen servicios complementarios que incluyen la capacitación y certificación, soporte técnico, venta de refacciones y mantenimiento preventivo y correctivo. Estas actividades agregan valor a su modelo de negocio y garantizan la funcionalidad y durabilidad de los equipos adquiridos por los clientes, quienes son grandes y medianos

productores agrícolas, cooperativas agrícolas y entidades gubernamentales, quienes ven en esta tecnología una herramienta clave para optimizar sus procesos productivos.

3. Prestadores de servicios con drones (PSD)

Estas empresas o individuos compran los drones a los distribuidores, e incluso a los importadores directos, para después ofrecer sus servicios especializados utilizando este equipo en actividades agrícolas. Los servicios pueden incluir la fumigación, monitoreo, mapeo del terreno y análisis de salud de los cultivos. Los PSD permiten que los agricultores tengan acceso a la tecnología sin necesidad de invertir en el equipo, y suelen trabajar bajo contrato para ofrecer servicios recurrentes.

Los clientes de estas empresas son productores agrícolas con superficies de cultivo de diez hectáreas⁵ en adelante. Esta segmentación responde a los costos asociados con los servicios que ofrecen, los cuales son más competitivos y viables en áreas extensas. Sin embargo, es posible realizar maquilas en superficies menores, siempre que estas se encuentren dentro de una zona cercana al radio operativo de la empresa. Según uno de los entrevistados, “no es conveniente maquilar menos de 5 hectáreas en localidades alejadas o con acceso limitado, ya que esto incrementa los costos operativos y reduce la rentabilidad del servicio”.

4. Vendedores de insumos agrícolas con integración de drones (VIAD):

Este tipo de empresas combinan la venta de insumos agrícolas (como fertilizantes, pesticidas, y semillas) con el uso de drones de pulverización, ello con la finalidad de ofrecer un servicio completo. Sus clientes son los grandes y medianos productores y empresas agroindustriales.

⁵ En el CENSO Agropecuario 2022 se reportó que el 28.2% de las unidades de producción encabezadas por personas físicas maneja superficies mayores a las cinco hectáreas, siendo las entidades: Tamaulipas, Zacatecas, Sinaloa, Baja California, Nuevo León y Sonora donde se dan las mayores concentraciones.

Con base en esta caracterización, se obtuvo la siguiente clasificación: dos empresas fueron catalogadas como Imp, dos como Dis, cuatro PSD y dos en VIAD.

Como parte del estudio y con la información proporcionada en las entrevistas semiestructuradas a los actores entrevistados, se identificaron dos periodos clave de tres años cada uno, en los cuales se concentra la fundación de las empresas analizadas. Para visualizarlos se elaboró la Figura 3, donde se muestra la distribución de las fechas de creación de cada empresa.

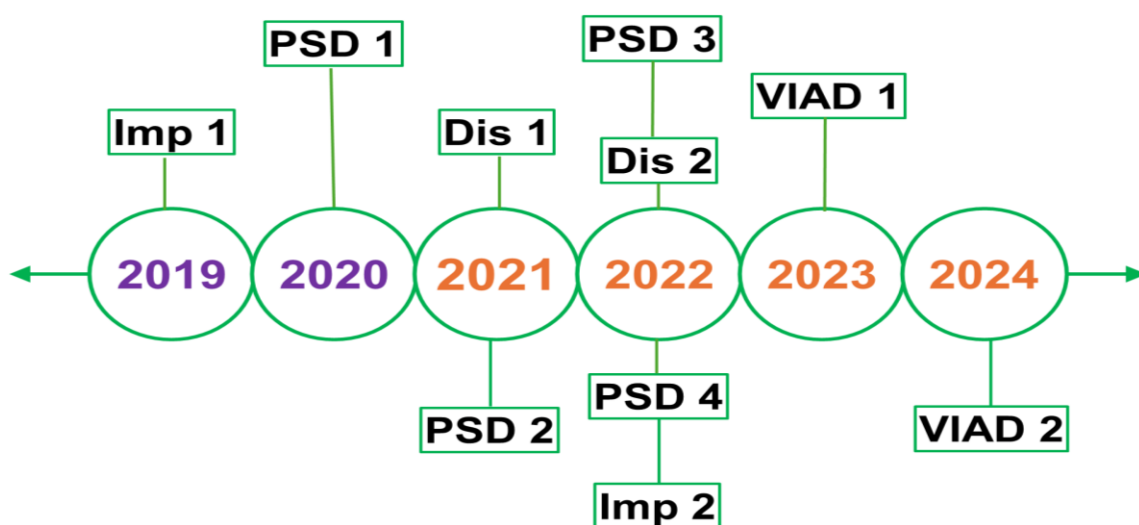


Figura 3: Línea temporal de la creación de empresas del mercado con drones agrícolas en México

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recopilados en entrevistas

4.5. Análisis de casos de estudio

1. Casos de empresas Importadores (Imp)

- Contexto

Ambas empresas de origen chino tienen el objetivo de ampliar su participación en el mercado mexicano de drones para la agricultura con su respectiva marca. Durante el análisis se identificaron similitudes y diferencias claves en su forma de operar, esto siguiendo la metodología propuesta por Yin (2018).

La empresa denominada Imp1 inició la venta de drones agrícolas en 2019, mientras que la empresa Imp2 llega tres años después (2022) al mercado mexicano, lo cual le permitió estudiar las estrategias de sus competidores y desarrollar un plan de posicionamiento basado en las lecciones aprendidas, tanto de éxito como de fracaso observadas.

Ambas empresas comparten el motivo principal para dar a conocer y vender esta tecnología a los productores, el cual consiste en brindar la posibilidad de reducir el uso de insumos, especialmente agua y productos fitosanitarios (Montoya et al., 2022), así como el tiempo dedicado a la aplicación y solventar la escasez de mano de obra en tareas de aplicación. Este ahorro operativo representa una ventaja significativa que influye en la adopción de la tecnología por parte de los productores (Montoya et al., 2022).

Cada empresa tiene una forma diferente de comunicar estas ventajas a sus clientes y prospectos de clientes. Imp1 tiene un modelo enfocado en soluciones integrales que incluyen la postventa, capacitación técnica y reparaciones, lo cual hace que la fidelización del cliente sea mayor al ofertarle un servicio más completo (Shokouhyar et al., 2020). Imp2, por su parte, emplea la agricultura de precisión como eje central de su propuesta, destacando la eficiencia en el uso de insumos y el uso de mapas digitales para una aplicación de tasa variable.

- **Comercialización**

Al ser una tecnología relativamente nueva en el mercado, es necesario presentar los drones a los potenciales adoptantes/usuarios. Aunque Imp1 y Imp2 ingresaron al mercado en diferentes momentos, ambas realizaron demostraciones en campo como una forma inicial de validación, con el fin de convencer a los productores de los beneficios de usar los drones para la aplicación de insumos agrícolas.

Imp1 implementó una estrategia más formal basada en campos testigos, donde se seleccionaron las variables óptimas para evaluar el desempeño de la tecnología, tomando en cuenta factores críticos como el viento, condiciones climáticas adecuadas para operar los drones de manera efectiva. Por su parte

Imp2, desarrolló el efecto “boca a boca” entre los productores, donde las recomendaciones y experiencias positivas entre productores jugaron un rol importante para la implementación de la tecnología.

Una vez consolidadas las respectivas estrategias, ambas empresas adquirieron el rol de importadores, cumpliendo una función esencial en el mercado mexicano de drones agrícolas, ya que son las responsables de importar directamente desde los fabricantes y distribuir los drones a distribuidores autorizados locales, convirtiéndose así en un pilar fundamental para el crecimiento de esta tecnología en el país.

- **Barreras de entrada**

La principal barrera en ambos casos fue la resistencia cultural por parte de los productores y algunos técnicos agrícolas, especialmente en relación con la cantidad de agua usada: *“yo no creo que con 25 litros logres lo mismo que con los 200 que usamos nosotros”*, suele ser una de las clásicas objeciones esgrimidas por los agricultores. Imp2 profundizó con respecto a este tema explicando que esta resistencia está relacionada con la formación universitaria tradicional donde se enfatiza que el uso de grandes cantidades de agua e ingrediente activo es sinónimo de efectividad. Esto se debe a que aún promueven las aplicaciones con el uso de herramientas tradicionales como lo son las mochilas aspersoras y el uso de tractores (Pandeya et al., 2025). Por su parte, Imp1 también reconoce esta barrera y la combate mediante la educación y demostración al productor, lo cual le permite contrastar resultados entre los métodos tradicionales y los drones.

Esta resistencia cultural resalta que la adopción de una tecnología no es exclusivamente una cuestión técnica o económica, sino también un proceso que implica cambiar de paradigmas, como señala Gianluca et al. (2024) donde las creencias previas deben ser enfrentadas con hechos.

Otra de las barreras fue el alto costo de la tecnología y el requerimiento de personal especializado para operarla, ya que, a diferencia del uso de un tractor o mochila, los drones requieren habilidades técnicas más específicas (Merani et

al., 2020). Con el paso del tiempo se solucionó gracias al surgimiento de las empresas dedicadas a ofertar el servicio de maquila con drones agrícolas.

- **Financiamiento**

El acceso al financiamiento ha sido uno de los mayores retos para los agricultores interesados en drones, lo cual se postula como una barrera para la adopción. Imp2 ha logrado vincularse con financieras que ofrecen créditos con esquemas semestrales o anuales, además tiene una asociación con una empresa externa: *“básicamente lo que logramos fue un seguro que no es 100% para dron, sino que se mete como parte de una herramienta de trabajo, ya que no hay bases estadísticas de cuantos se caen, cuantos se roban, etc., entonces las aseguradoras no sabían cómo calcular la prima”*. Se desarrollaron modelos de seguros no convencionales que permitieron al comprador asegurarlo como herramienta de trabajo, especialmente en zonas catalogadas como inseguras. Por su parte, Imp1 empezó la venta solo mediante pago de contado: *“Conforme fue creciendo el mercado y la competencia, logramos llegar a un tipo de mercado que ahora sí requiere financiamiento”*. Para ello estableció convenios con instituciones financieras como Compartamos Banco y Cajas de Ahorro, pero las altas tasas de interés, que pueden llegar al 48% anual, limitan la accesibilidad. Aunque algunas iniciativas gubernamentales han ayudado, su alcance sigue siendo insuficiente para cubrir las necesidades del mercado.

Ambas empresas coinciden en que el sistema financiero mexicano no está preparado para ofrecer un respaldo a los drones ya que estos tienen un alto riesgo tecnológico y de delincuencia: *“Desafortunadamente, como los equipos son de alto riesgo, muy pocas empresas se atreven a dar un financiamiento...porque en México si existe una legislación que prohíbe volar en ciertas condiciones, pero no está activa, lo cual lleva a no poder tramitar seguros o hacerlo se vuelve complicado”* Imp1 (2024), lo cual coincide con los planteamientos de Hernández (2019) sobre la necesidad de políticas públicas diferenciadas para la innovación agrícola.

- **Segmentación del mercado**

Con base en los resultados obtenidos en ambos casos, se muestra que hasta el momento los principales adoptantes de drones son:

1. Productores de grandes escalas, los cuales adquieren los drones para uso propio.
2. Empresas dedicadas a ofertar aplicaciones de insumos agrícolas con drones.
3. Organizaciones de productores que se asocian para comprar un dron a través de un financiamiento conjunto.
4. Vendedores de insumos agrícolas.
5. Universidades.

Analizando los resultados, se refleja un patrón de adopción basado en la capacidad organizativa y financiera, lo cual pone en evidencia una brecha estructural en el acceso a la tecnología, especialmente en pequeños productores.

Al mismo tiempo se toma en cuenta el tipo de cultivo / actividad agrícola *“Es muy importante identificar el tipo de cultivo”* Dis1.

- **Potencial y limitantes**

Ambas empresas han desarrollado un gran potencial que les permite operar como importadores directos. Pronostican un importante crecimiento en la venta y uso de drones para aplicación/pulverización durante los próximos tres años. En cuanto a los drones multiespectrales, hacen mención que son una herramienta complementaria y con gran potencial a futuro debido a que puntualizan que este tipo de dron requiere un ecosistema agrícola más tecnificado para implementarse y adoptarse. *“Es un sector aún más pequeño porque no todos los agricultores meten el 100% de dedicación al tema de aplicaciones variables; realmente los que usan multiespectrales son muy pocos en México y lo hacen porque necesitan hacer mapeos”*.

Asimismo, para aprovechar la información y llevar acabo un adecuado procesamiento de datos, se debe implementar en todo su esplendor la AP, tal

como lo señala Imp2 (2024) *“Sostengo que para implementar drones multiespectrales primero debemos entender y poner en práctica la AP, una vez que la manejemos podremos aprovechar al 100 este tipo de drones”*.

Con el análisis de ambos casos se deduce que, entre las principales limitaciones para la difusión y adopción de drones en la agricultura, destaca la falta de infraestructura en zonas rurales, lo que complica el acceso a terrenos accidentados y limita la operación eficiente de los drones. Asimismo, aunque los drones generan datos valiosos a través de los mapas multiespectrales, su procesamiento requiere software especializado y conocimientos técnicos, lo que representa un obstáculo para los usuarios menos capacitados.

Otro desafío es la competencia con métodos tradicionales ampliamente utilizados en las fumigaciones, tales como las avionetas para el caso de los grandes productores, las mochilas pulverizadoras en pequeños productores y el uso de tractores. A esto se suma la ausencia de políticas públicas claras que regulen y fomenten el uso de drones agrícolas en México, creando un entorno de incertidumbre para los inversores y usuarios.

- **Conclusiones**

El uso de la metodología de casos múltiples permitió identificar y afirmar que existen patrones comunes en ambas empresas que favorecen la difusión y adopción de drones agrícolas en México, los cuales son el uso de demostraciones en campo como estrategia de venta, en donde se muestra a los productores que no solo se reduce el tiempo de aplicación y se solventa la escasez de mano de obra, sino que también las aplicaciones son más precisas debido a la tecnología de las boquillas⁶ que hacen la aspersión, así como la reducción del desperdicio del insumo agrícola, lo que se traduce en disminución de costos y de los potenciales daños al ambiente.

⁶ Las boquillas atomizadoras son los dispositivos que transforman el líquido en microgotas, su diseño (abanico, cono hueco, cono lleno, etc.) determina el tamaño de la gota y por ende la precisión de la aplicación y con ello la reducción de deriva del producto (Anken et al, 2024).

En cuanto a las diferencias, destaca en que Imp1 ha consolidado un modelo de soluciones integrales y respalda su experiencia utilizando evidencias, mientras que Imp2 se enfoca en la agricultura de precisión y basa su estrategia de comercialización en redes de confianza entre los productores, potencia su capacidad a través de alianzas con financieras con quienes desarrolló una protección para el dueño del dron y construye su legitimidad a través del efecto de difusión de productor a productor.

El análisis pone en evidencia que el mercado está mayormente orientado a los grandes productores, maquiladores de servicios y organizaciones de productores, quedando excluidos los pequeños productores no sólo por un factor de escala reducida, sino también por factores culturales, geográficos y tecnológicos.

Finalmente, se concluye que la difusión y adopción de drones agrícolas no es un proceso homogéneo ni lineal, depende más de la combinación de factores estructurales, organizaciones y subjetivos que varían de acuerdo con el contexto.

2. Distribuidores

- **Contexto**

Estas dos empresas surgen con la meta de posicionarse en el mercado de drones y expandir su difusión en el país; ambas empresas compran los equipos a los importadores destinados por las marcas oficiales de drones, y los venden a los grandes y medianos productores, prestadores de servicio y vendedores de insumos agrícolas.

Dis1 comenzó sus operaciones en 2021, después de que su fundador obtuviera conocimientos técnicos sobre la tecnología e identificara la zona Centro como punto estratégico, ya que el estado donde se estableció es cercano a la zona norte del país, donde se encuentran las unidades de producción de Sinaloa, Tamaulipas, Durango y Zacatecas (Censo Agropecuario 2022). Por su parte, Dis2 fue fundada en 2022 y se localiza en el Bajío, zona caracterizada por su producción agrícola en Guanajuato y Jalisco (SADER, 2021).

Ambas empresas buscan oportunidades de mercados para aventajar a la competencia. Aun cuando sus sedes se localizan a cinco horas aproximadamente de distancia, son competencia entre ellas. Aun así, cada una ha construido su cartera de clientes a la cual les venden los drones para la pulverización. Sin embargo, el Dis 2 comentó que no logró concretar una alianza con el Gobierno de Guanajuato ya que una empresa de la zona Norte con mayor experiencia obtuvo el convenio de apoyo a los productores para la adopción de drones.

- **Comercialización**

Ambas empresas cuentan con gerentes con experiencia previa en la venta de drones, lo que les permitió implementar la demostración en campo; al ser visual, práctica y presencial (ya sea un productor, un grupo de estos o una empresa), esta técnica resulta efectiva para incentivar las compras. Según lo expresado por los entrevistados *“ofrecer una aplicación gratis, donde observen el funcionamiento del dron me ha resultado”*. *“No es lo mismo explicarles que mostrarles; cuando ven el dron en acción se interesan, preguntan más e incluso puedo completar una venta”*. A esto se le suma la propuesta de acompañamiento técnico durante la primera semana posterior a la adquisición y la capacitación para el uso correcto de la tecnología, lo cual agrega el valor buscado a la venta por ambas empresas.

Además de compartir la técnica de demostración en campo, ambas empresas ofrecen distintos servicios extras que las distinguen (Cuadro 4). Mientras Dis1 se centra en la provisión de equipos, Dis 2 complementa con servicios de aplicación, monitoreo de cultivos y la impartición de cursos. Pareciera que esto les da enfoque a dos modelos comerciales distintos, pero el enfoque/actividad principal de Dis2 son las ventas de drones, no la prestación de servicios de fumigación, por ese motivo se catalogó en este mecanismo de difusión y no en PSD.

Cuadro 4: Comparación de servicios ofertados por Dis1 y Dis2

Servicios ofertados	Dis1	Dis 2
Venta de drones para aplicación	✓	✓
Venta de drones Phantom/ Mavic	✓	✓
Accesorios y refacciones para Agras	✓	✓
Seguimiento postventa	✓	✓
Reparación con personal certificado	✓	✓
Asesoría técnica sobre el uso de drones	✓	✓
Servicios de fumigación/aplicación	✗	✓
Monitorio agrícola	✗	✓
Mantenimiento de drones	✓	✓
Pólizas de seguros para drones agrícolas	✗	✓
Cursos de uso y/o mantenimiento de drones al público en general	✗	✓

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recopilados en entrevistas

La comparación entre ambas empresas bajo el enfoque propuesto por Yin (2018), muestra que, aunque ambas empresas participan en el mismo segmento del mercado, Dis1 adopta un enfoque centrado en la venta de drones y soporte especializado, sobre todo porque sus técnicos se encuentran certificados ante DJI, lo cual le permite atraer a clientes que buscan adquirir un equipo con respaldo confiable. En cuanto Dis2, opta por diversificar la oferta de servicios, brindando la oportunidad del servicio de fumigación y monitoreo a quienes no ven factible la compra del equipo, lo cual le permite adaptarse a diferentes perfiles de clientes. La póliza de seguro y cursos de un buen uso y mantenimiento de los drones agras, refuerza aún más su posicionamiento como vendedor de soluciones agrícolas para los agricultores y/o empresas. De esta manera no solo amplía su cartera de clientes, sino que mantiene constante la difusión del uso de drones, particularmente en clientes que no quieren o no pueden comprar uno.

- **Barreras y limitaciones**

A pesar de que en las empresas su principal directivo contaba con una experiencia previa en el uso y venta de drones, no quedaron exentos de enfrentarse con obstáculos. A partir de los que ambos casos expresaron, se identificaron las siguientes barreras:

- Entrada reciente al mercado: al ser negocios nuevos en sus respectivas zonas, con una tecnología de vanguardia, se enfrentaron a la necesidad de comenzar desde cero, como el caso de las Imp.
- Desconocimiento de los drones: Este desconocimiento genera desconfianza y resistencia a adoptar la nueva tecnología, al reusarse a cambiar o complementar sus métodos tradicionales. *“Muchos no entienden cómo el dron puede hacer el trabajo del tractor o de la mochila... Hasta que no lo ven funcionando, no se convencen”* Dis1
- Costos elevados: El precio del dron es percibido como alto por parte de los agricultores, aun cuando un tractor oscila entre 700 mil pesos mexicanos (John Deere, 2025); aun así, lo ven más accesible ya que justifican que tiene diversos usos a lo largo del ciclo agrícola. Aunque el dron vale casi la mitad de lo que cuesta un tractor, es considerado como una herramienta especializada con aplicaciones limitadas y para monitoreo. Ambas herramientas pueden resultar costosas especialmente para pequeños y medianos productores.
- Cantidad de hectáreas por agricultor: En el análisis de entrevistas se destacó que la mayoría de los agricultores no cuenta con grandes extensiones de terreno como para justificar la inversión en un dron. En el Censo Agropecuario 2022 se mostró que 71% de las unidades de producción tienen hasta cinco hectáreas, mientras que sólo el 28.2% tiene una superficie mayor. Algunas unidades con grandes extensiones no son propias, es decir las rentan, o bien se encuentran distribuidas en diferentes zonas, lo que dificulta la operación: *“Hay quienes tienen buena cantidad de tierra, pero repartida en diferentes lugares”* Dis2.

Estas barreras muestran las condiciones en las que llegaron a operar las empresas y que ha tenido que ir superando. La Figura 4 ilustra cómo las empresas enfrentan estas resistencias: los nodos en tonalidad azul representan a las empresas, los nodos en escala de verde indican las técnicas utilizadas para superarlas, y los nodos en rojo señalan las resistencias identificadas, como la infraestructura deficiente. Al mismo tiempo muestran la necesidad de la intervención de las políticas públicas para impulsar la adopción de las nuevas tecnologías agrícolas. Por lo tanto, la combinación de la baja escala de producción, costos altos y falta de adopción de la tecnología hace que los distribuidores implementen la oferta de servicios de fumigación/aplicación, como el caso del Dis2, para complementar o bien hacer crecer sus empresas.

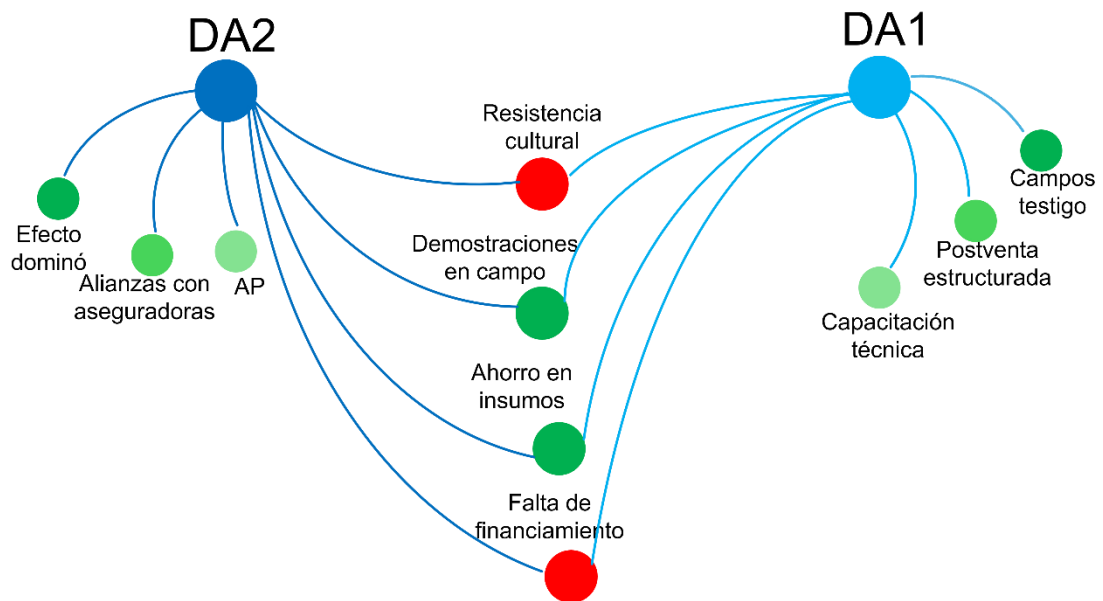


Figura 4: Red de resistencias y soluciones

Fuente: Elaboración propia con datos de entrevistas.

• Conclusiones

Las empresas comparten patrones en cuanto a la venta de drones, pero para este caso se observó que complementan sus servicios buscando la manera de llevar la tecnología a los agricultores, productores y/o empresas, ofertando cursos, seguros y garantizando que su personal se encuentre certificado ante los fabricantes. Al pasar de los años en el mercado, estas empresas se percatan de

la necesidad de sumarle a su actividad principal para lograr el posicionamiento y llegar a la meta establecida.

Finalmente, se vuelve a presentar que el mercado está orientado a aquellas personas que poseen grandes extensiones de producción, dificultando a los pequeños productores la compra de un dron, lo cual lleva a la terciarización de la tecnología.

3. Empresas Prestadoras de Servicios con Drones

- **Contexto**

Las empresas dedicadas a prestar servicios de aplicaciones de insumos con drones agrícolas también son conocidas por los productores como maquiladores (tal como se les llama a los que ofrecen servicios de maquila con tractores y cosechadoras); su función es ofertar el servicio de aplicación para cultivos como cereales, árboles frutales, hortalizas, entre otros. Actualmente estas empresas se encuentran distribuidas a lo largo del país y para efectos de la investigación, se entrevistó a cuatro de ellas, cada una con diferente zona de operación y año de inicio (Cuadro 5).

Siguiendo la metodología propuesta por Yin (2018), se identificaron patrones comunes y diferencias entre los cuatro casos.

Cuadro 5: Perfil de empresas analizadas

Caso	Inicio	Región/Zona	Tipo de dron	
PSD1	2020	Centro-Norte	DJI T40	AGRAS
PSD2	2021	Norte	DJI T40	AGRAS
PSD3	2022	Centro-Occidente	DJI T40	AGRAS
PSD4	2022	Sur	DJI T40	AGRAS

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recopilados en entrevistas

- **Motivaciones para emprender este negocio**

El análisis detallado de los cuatro casos estudiados permitió identificar patrones consistentes en cuanto a las motivaciones que llevaron al nacimiento de dichas empresas. El primer elemento común es la identificación de nichos de mercado, situación que se determinó por las condiciones geográficas y temporales en que las empresas comenzaron su operación, siendo regiones donde existía nula o baja presencia de competencia en el momento de la fundación.

El caso PSD1 es relevante debido a que dicha empresa inició sus operaciones en el mismo año que los drones agrícolas se introdujeron a México, lo cual la convierte en una de las pioneras dentro de este sector. A partir de esta empresa surge la PSD2 cuyo fundador tomó la experiencia adquirida para después trasladarse al norte del país donde identificó un vacío en el mercado regional.

Los casos PSD3 y PSD4 muestran un proceso de emprendimiento similar, ya que ambas surgen después de que sus fundadores concluyen las prácticas profesionales en empresas ya establecidas. Después de concluir sus estudios universitarios y regresar a sus estados de origen, identificaron la ausencia de oferta de aplicación de insumos agrícolas con drones y por ello su decisión de emprender; las bases técnicas previamente adquiridas facilitaron el inicio de operaciones, aunque no la aceptación rápida y posicionamiento en la región.

Respecto a la experiencia técnica, se observa que PSD2, PSD3 y PSD4 comparten el patrón de haber adquirido conocimientos en empresas que ya se encontraban establecidas y se dedicaban a dicha actividad, en cambio PSD1 obtuvo esta experiencia técnica directamente del fabricante establecido en China, lo que le permitió actuar como fuente primaria de conocimiento para otras empresas en México.

La Figura 5 ilustra estos cuatro motivos principales de emprendimiento, mostrando la relación cíclica entre la experiencia técnica, la identificación de oportunidades de mercado, sobre todo en lo que respecta a la escasez de mano de obra, y la decisión de emprender.

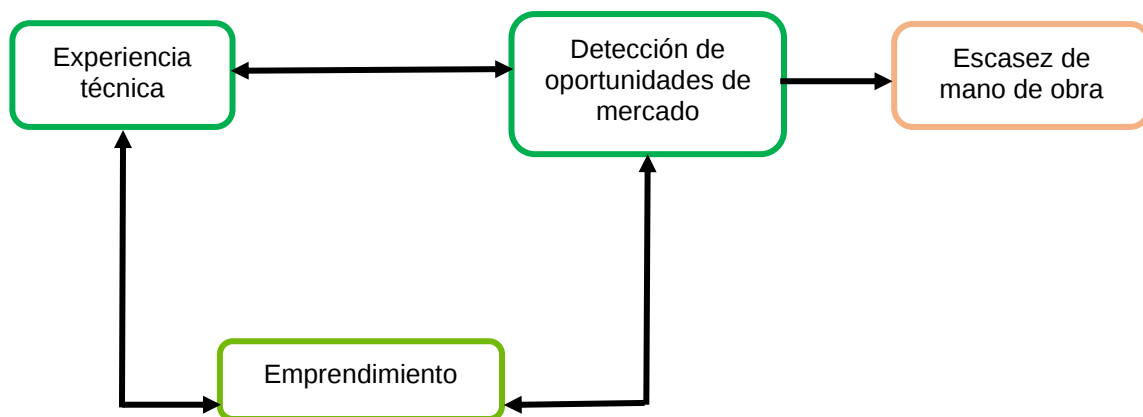


Figura 5: Motivos de emprendimiento

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recopilados en entrevistas

- **Estrategias de venta del servicio**

Una estrategia clave en los cuatro casos para posicionar el nuevo servicio agrícola basado en el uso de drones para pulverización, consiste en realizar demostraciones gratuitas en campos de los productores prospectos a clientes; dicha práctica fue muy recurrente en los inicios de las empresas, ya que ayudó a combatir la resistencia cultural por parte de los productores. Las aplicaciones sin costo permitieron que los potenciales clientes verificaran directamente la eficiencia y ventajas que generaba el uso de esta tecnología, en contraste con los métodos tradicionales.

Posteriormente, las demostraciones gratuitas se fortalecieron mediante la recomendación “boca a boca” que fungió como un mecanismo complementario que contribuyó significativamente a expandir la cartera de clientes (Figura 6). En el caso PSD3 destacó que, al realizar la demostración al productor líder de la región, ya no fue necesario realizar más demostraciones debido al alto grado de influencia de este productor sobre los demás agricultores locales.

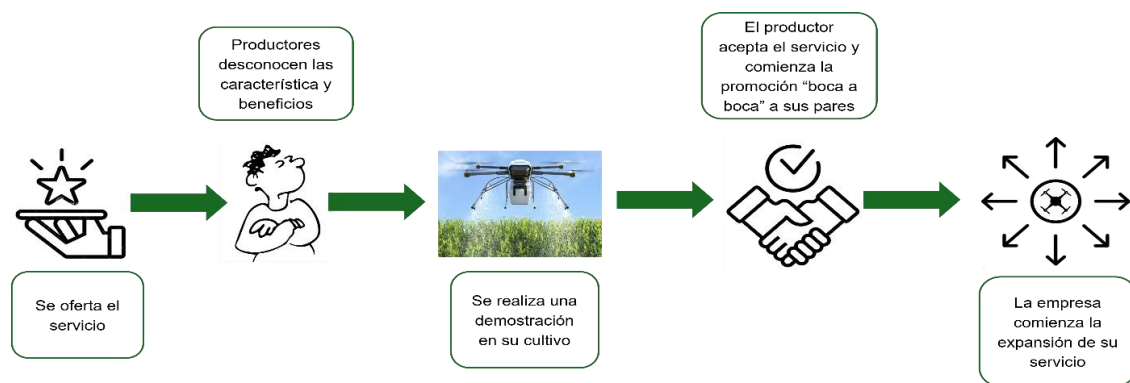


Figura 6: Modelo de posicionamiento para la adopción de drones

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recolectados en entrevistas

De igual manera se destacó el uso de las redes sociales por cada empresa para promover visualmente los resultados obtenidos con el uso de drones, así como medio de contacto para potenciales clientes. Adicional a los mecanismos mencionados, se suman los descuentos que se ofertan a productores con más de 50 hectáreas, lo cual contribuye a la fidelización.

En términos generales las cuatro empresas comparten patrones en cuanto a las actividades de venta del servicio, diferenciándose en los precios debido a las condiciones particulares de las regiones donde se encuentran establecidas.

Los mecanismos usados por las empresas analizadas corresponden al cuadrante *desarrollo de mercado* en la matriz de Ansoff, esto debido a que el mercado y el servicio ofertado es nuevo en las regiones donde se establecieron, lo que se traduce en el traslado de una tecnología existente en otro lugar.

Las demostraciones gratuitas constituyen una actividad clave característica de desarrollo de mercados, pues el objetivo fundamental es captar segmentos nuevos, vencer las barreras culturales y consolidar una demanda inicial donde el servicio es completamente desconocido. Por consiguiente, las empresas analizadas cumplen con los criterios que definen la estrategia de desarrollo de mercado dentro del marco analítico propuesto por Manuel y Rodríguez (2020).

- **Precios del servicio ofertado**

El precio es un aspecto clave para determinar la rentabilidad del negocio y facilitar la adopción o contratación por parte de los clientes. Debido a la ausencia inicial de competidores, las empresas tuvieron que establecer precios que fueran aceptables y rentables, tanto para ellas como para los productores.

Se identificó que el precio promedio entre las empresas es de \$675.00/ha para servicios de fumigación, oscilando entre \$550.00 y \$800.00/ha, observándose coincidencias en dos empresas que tienen un precio de \$700.00 (Figura 7). Esta coincidencia se debe a la región donde operan (región norte), lo que puede interpretarse como una réplica literal de acuerdo con Yin (2018). En el caso PSD4 que opera en la región Sur tiene el precio más alto, \$800.00/ha, debido muy probablemente a las condiciones geográficas de la región, caracterizadas por relieves pronunciados que hacen más tardado y riesgoso el servicio. Por su parte, PSD3 mantiene el precio más bajo, \$550.00/ha, lo cual se relaciona con su ubicación geográfica y a ello se le suma que el promedio de hectáreas por las cuales contratan el servicio supera las 15 ha.

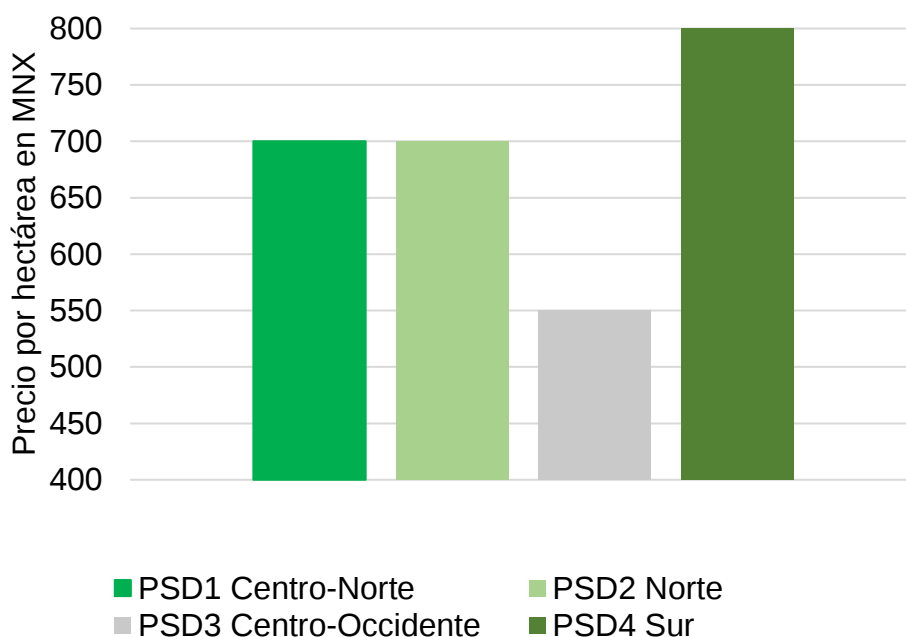


Figura 7: Precio del servicio por región

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recolectados en entrevistas

Aunque a simple vista pareciera que los precios son elevados, el uso del dron presenta ventajas significativas para el productor (Cuadro 6), en comparación con aplicaciones tradicionales como el de la mochila aspersoras y el tractor (Wang et al., 2019).

Cuadro 6: Comparativo de métodos de aplicación

Variable	Dron	Mochila aspersora	Tractor con aspersor
Costo promedio por hora	\$675.00	\$400.00	\$500.00
Cobertura por hora	20 ha	2 ha	10 ha
Volumen de agua utilizado por hectárea	20 – 25 l	300* l	350 a 400 l
Condiciones del terreno	Todo tipo de terreno	Accesibles al humano, sin pendientes pronunciadas	Limitado por el relieve
Riesgo para el operador	Bajo, debido a operación remota	Alta por exposición directa a los químicos	Medio
Dependencia de mano de obra	Baja	Alta	Baja

*Con una mochila aspersora de 15l se requiere 20 recargas

Fuente: Elaboración propia con datos de entrevista semiestructuradas, Advexure, (2025), Caputti et al. (2025)

- **Recomendaciones para el futuro**

- **Fortalecer la educación del cliente:** Organizar talleres y programas de capacitación para demostrar la efectividad de los drones y reforzar la confianza de los agricultores.
- **Diversificar servicios:** Explorar nuevas aplicaciones de drones en otros cultivos y sectores agrícolas, como la certificación orgánica o el monitoreo ambiental.
- **Colaboración institucional:** Buscar alianzas con instituciones públicas y privadas para promover subsidios y programas de adopción tecnológica.

4. Vendedores de insumos agrícolas con integración de drones (VIAD)

- Contexto

En el mercado de drones en México existe el mecanismo de difusión VIAD a través de empresas dedicadas a otras actividades como fuente principal de ingresos. El uso de drones es una herramienta que les ayuda a ofertar un *plus* a sus clientes de insumos agrícolas y lograr diferenciarse ante sus competidores. VIAD1 es una distribuidora y vendedora de fertilizantes de origen israelí, que incorporó inicialmente dos drones Mavic para diagnosticar cultivos y ofrecer recomendaciones agronómicas con mayor sustento sin costo adicional, lo que le permitió dar un mejor servicio y aumentar ventas: *“hemos incorporado un programa de agricultura digital que combina nuestra línea de fertilizantes con dos plataformas claves de DJI”*. Las dos tecnologías que incorporan son Mavic 3 Multiespectral (M3M) y Mavic 3 Thermal (M3T); el primero es un dron que sirve para generar mapas NDVI/NDRE que orientan las decisiones de nutrición, mientras que el segundo suministra ortomosaicos térmicos para calcular el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI por sus siglas en ingles) y afinar el riego. *“Se decidió incorporar un dron de pulverización con la finalidad de aprovechar el uso de los Mavic y probar la respuesta de dos de nuestros fertilizantes al ser aplicados con esta tecnología”*. Se incorporó un dron de pulverización por cada uno de los cinco vendedores distribuidos en puntos estratégicos del país, declarando que no deseaban convertirse en una PSD, si no fortalecer la colocación de sus fertilizantes mediante la implementación de nuevas tecnologías, lo cual implica ofrecer un servicio más tecnificado a sus clientes potenciales.

Por su parte, VIAD2 es una microempresa agropecuaria en la región de Sur de Puebla; su principal actividad es la venta de agroquímicos y semillas, complementando la venta con asesoría. En 2024 adquirió un dron de la marca DJI Agras T40 para uso interno, pero identificó una oportunidad de mercado cuando un cliente le solicitó que aplicara los productos con el dron, lo cual lo motivó para sumarlo a sus negocios al visualizar la oportunidad de aumentar su cartera de clientes, promover su lealtad y aumentar el volumen de insumos

vendidos. Según sus propias palabras *“El dron me permite atender tanto a productores grandes como pequeños, ya que mi meta es vender los agroquímicos”*.

En ambos casos la incorporación de drones opera como un plus tecnológico que refuerza su propuesta de valor⁷ y su actividad clave: la venta de insumos agrícolas.

- **Oferta integrada de insumos**

VIAD1 combina las dos plataformas de DJI con sus fertilizantes para prescribir dosis variables basadas en diversos índices, dicha formulación se muestra en seguida:

Drones

- Mavic 3 Multispectral: cámara RGB 20MP+cuádruple sensor G/R/RE/NIR de 5 MP para NDVI y NDRE
- Mavic 3 Thermal: microbolómetro radiométrico 640×512 px, 8-14 µm, precisión ± 2 °C

Ambos equipos vuelan 40-45 min, cubren hasta 200 ha por jornada y se programan en DJI Pilot 2 para misiones de mosaico con traslape 80/70%. La georreferenciación (RTK) sincroniza los mapas con los sectores de riego o fertirriego del cliente. A continuación, se muestra el procedimiento mediante el cual VIAD1 traduce la información recopilada con los drones y hace las recomendaciones para utilizar sus fertilizantes:

1. Proceso de monitoreo integrado

Paso	Output	Producto relacionado	Vínculo de índice-fertilizante
Vuelo M3M (9–11 h)	Mapas NDVI (vigor)	PeKacid	NDVI altos (> 0.75) tras 10 días de aplicación indican absorción óptima de P-K en fases tempranas

⁷ Alexander Osterwalder dice que la propuesta de valor es el factor que hace que un cliente se decante por una u otra empresa ya las actividades claves como las acciones mas importantes que debe emprender una empresa para tener éxito.

NDRE (clorofila)	Agrocote	Libera N, P o K de forma controlada y estabiliza el NDRE entre 0.28–0.34 durante el ciclo
------------------	----------	---

La empresa demuestra que con la combinación de M3M y M3T y su portafolio de fertilizantes puede transformar un cultivo en un sistema monitoreado por imágenes: NDVI⁸ orienta P-K y NDRE mantiene la clorofila vía CRF y S-Ca. El resultado para el agricultor es menos fertilizante y agua, mayor rendimiento y una narrativa de sostenibilidad respaldada por datos de vuelo y laboratorio.

VIAD2, por su parte, trabaja con una franquicia de Syngenta y comercializa insecticidas y fungicidas dirigidos a cereales, hortalizas y huertos frutales. Ofrece la aplicación con un dron de pulverización, pero la decisión de contratar la maquila queda a consideración del agricultor.

- **Comercialización**

Ambas empresas operan con un modelo híbrido que fusiona la venta de agroinsumos con un servicio de aplicación mediante un dron para pulverización, cada una adapta la estrategia a su operación y objetivo principal de venta.

VIAD1 introduce sus fertilizantes mediante visitas de campo dirigidas a grandes y medianos agricultores. En un principio las muestras de los fertilizantes son gratis y se acuerda una visita sincronizada con el tiempo que tarda en reflejarse la acción del producto en el cultivo; esta prueba se le conoce como etapa de prueba-verificación y se refiere a una técnica comercial en la que se ofrecen insumos junto con servicios en un paquete conjunto (Ingenbleek et al., 2023). Cuando consiguen posicionar su producto, se realiza el levantamiento de imágenes de las hectáreas con los drones Mavic, con la finalidad de realizar un diagnóstico más eficiente y vender los productos que realmente necesita el

⁸ NDVI = Índice de vegetación de diferencia normalizada; P= fósforo; K= Potasio; NDRE= Índice de diferencia normalizada del borde rojo; CRF= Fertilizante de liberación controlada; S= Azufre; Ca=Calcio.

cultivo⁹ (Guebsi et al., 2024) mediante el uso de herramientas diagnósticas precisas y no invasivas.

Finalmente, ofertan el servicio de aplicación con dron como servicio complementario, sin dar una demostración debido a que aterrizan los beneficios dialogando con los dueños y técnicos encargados de la producción, quienes en general están a la vanguardia de las tecnologías utilizadas y saben sobre el beneficio-costeo que esto implica. En cuanto al costo de aplicación, cobran una cuota de \$300.00 por ha, independientemente de la mezcla y se limitan a aplicar únicamente los productos de la marca. Su modelo se muestra en la Figura 8, donde se agrega el uso de drones M3M, M3T y de pulverización, lo cual es una clara muestra de la creciente capacidad tecnológica del sector agroalimentario mexicano para adoptar innovaciones digitales (Vargas-Canales, 2023).

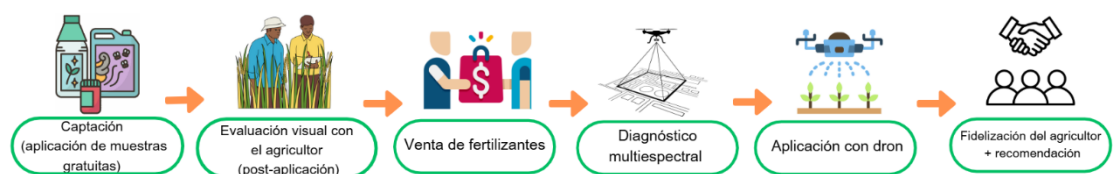


Figura 8: Modelo híbrido de comercialización VIAD 1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recopilados en entrevistas

Por su parte, VIAD2 funciona como una microempresa¹⁰ donde su propietario ejerce simultáneamente labores de administrador, asesor técnico y vendedor, atendiendo directamente a los agricultores de las zonas aledañas a su localización, recomendándoles dosis y calendarios de manejo integrado de plagas. Además, el servicio de aplicación con dron se ofrece como cierre de la venta y mecanismo de fidelización: la primera aplicación es gratuita y las siguientes se cobran a \$600.00 por hectárea, independientemente de que la superficie sea entre 0.5 y más de 20 ha. La escasez de mano de obra en la región constituye una ventaja competitiva que refuerza la demanda del servicio (Figura

⁹ El vendedor de fertilizantes debe tener la formación específica de agrónomo ya que dependiendo del cultivo debe ofertar los fertilizantes sin violar o alterar las aplicaciones acordes al ciclo de cada cultivo

¹⁰ Según INEGI, las microempresas son los pequeños negocios (en cualquiera de los cuatro giros), emplea entre uno y diez personas y sus ingresos no superan los cuatro millones de pesos.

9). Para asegurar la rentabilidad en pequeños predios, el ingeniero toma la decisión de agrupar parcelas colindantes hasta reunir al menos 10 ha por jornada, ajustando los tiempos de vuelo en la madrugada o tarde noche con la finalidad de que las condiciones climáticas no se vuelvan una limitante para la aplicación, esto le ayuda a optimizar el tiempo de las baterías y reducir los tiempos muertos logrando así un buen aprovechamiento del dron, tal como lo menciona Guebsi et al. (2024): la autonomía de vuelo puede variar, con drones capaces de volar desde 20 minutos hasta varias horas, dependiendo de las condiciones de uso y la carga útil.

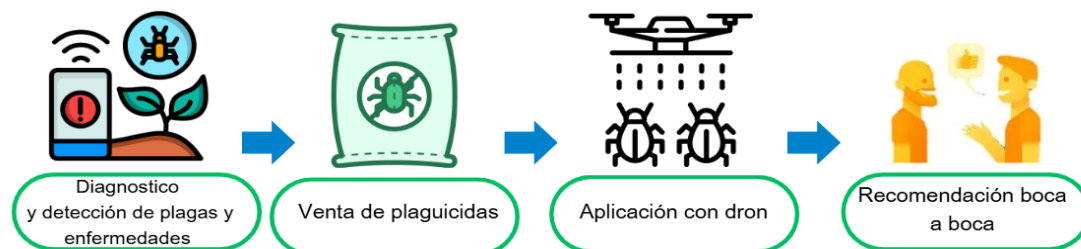


Figura 9: Proceso de venta VIAD 2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recopilados en entrevistas

Aunque la oferta de la aplicación con dron forma parte de la propuesta de valor, la estrategia comercial se centra en la venta de plaguicidas, ya que, al vender únicamente el servicio de aplicación, estaría apoyando a la competencia, disminuyendo su cartera y perdiendo su objetivo principal.

Para ambos casos la principal promoción es demostración en campo y la recomendación boca a boca, es una técnica de difusión que ha sido mencionada como catalizadora para la adopción de nuevas tecnologías agrícolas por parte de los agricultores, tal como lo menciona Windon & Adhikari (2024): “las recomendaciones de pares, las tendencias del mercado y las decisiones de la adopción de la propia red social, pueden influir en las decisiones del agricultor individual”.

- **Barreras y limitaciones**

VIAD1, pese a que está tratando de innovar y trabajar con los drones Mavic, tiene la limitación con el procesamiento y la interpretación de las imágenes capturadas, en palabras del entrevistado: *“debemos ir a campo y tomar imágenes de varios cultivos, después esas imágenes se envían a matriz en donde son procesadas y analizadas, ellos nos regresan las prescripciones y de allí debemos regresar a campo... Aún no lo implementamos como servicio ya que hay ocasiones que por los tiempos nos toca hacer la recomendación de las aplicaciones de los fertilizantes sin tener los resultados, porque no podemos arriesgar el cultivo...”*.

VIAD2 se enfrentó a la desconfianza de los agricultores por temas de aplicación con el dron, toda vez que en ocasiones el agricultor solicita la aplicación de productos de la competencia: *“Si, me han pedido que aplique productos de la competencia, pero les digo de manera amable que no puedo, ya que si les hicieron una mala recomendación y se pierde el cultivo dirán que fue mi culpa y no la del vendedor”*. Esto hace que VIAD2 limite la prestación de servicio de pulverización e invierta más tiempo en demostraciones, a diferencia de los PSD quienes se dedican específicamente a realizar aplicaciones con las especificaciones de los ingenieros agrónomos a cargo de los cultivos.

- **Conclusiones**

La implementación de drones como servicio complementario (plus) a la venta de insumos agrícolas ha mostrado ser un buen mecanismo para la adopción de esta tecnología, tanto para aplicación como para monitoreo o diagnóstico. Para los grandes y medianos productores, la experiencia con el servicio puede terminar en la compra de su propio dron de aplicación. Las barreras iniciales, como la desconfianza y costos, las han podido superar conforme incrementa su cartera de clientes.

Sin embargo, queda un amplio camino por recorrer para los drones destinados a tomar imágenes, ya que como mencionó VIAD 1, las imágenes aún no se procesan en México y a pesar de que hoy en día el internet es un elemento positivo que juega a favor de realizar el envío, procesamiento y retorno más rápido de datos, aún existen detalles en los tiempos.

4.6. Análisis transversal de casos

El análisis trasversal de los cuatro mecanismos de difusión permitió agruparlos en dos grupos de empresas para la difusión de drones agrícolas (Figura 10):

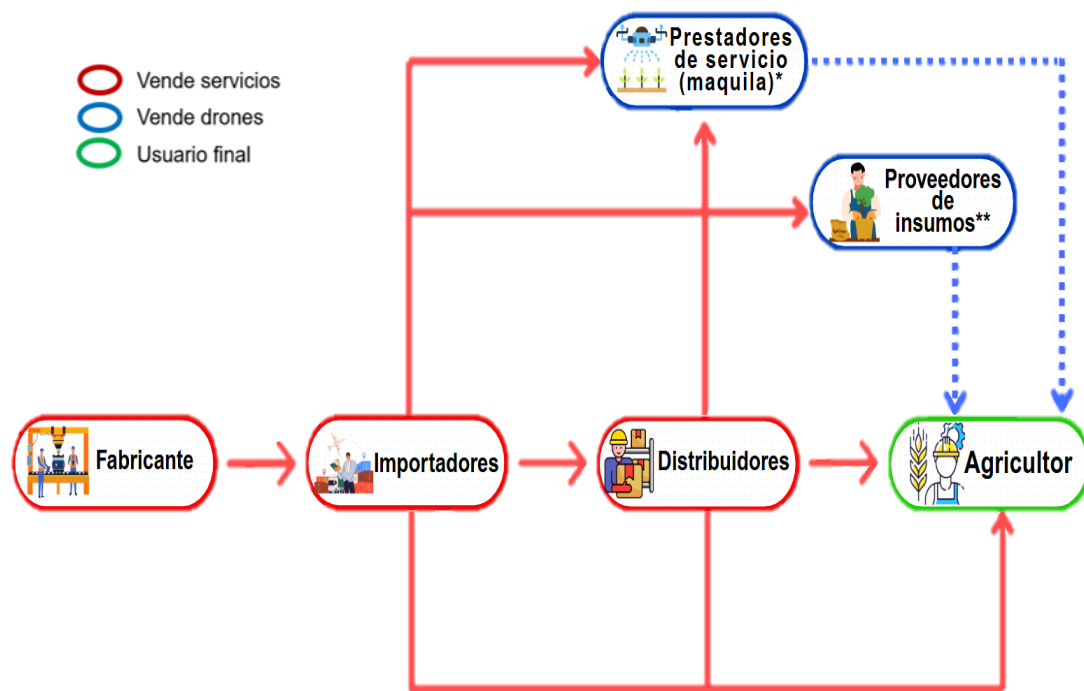
1. Venta de drones, representados por Imp y Dis,
2. Venta de servicios: comprenden a los PSD y VIAD.

Ambos grupos utilizan dos modalidades principales para la difusión:

Difusión directa: consiste en la venta del equipo al agricultor. Esta modalidad facilita la apropiación tecnológica y acelera la adopción en agricultores con más de 50 hectáreas y mayor capacidad económica. Según Michels et al. (2021), la adopción de drones por grandes agricultores se ve influenciada por factores como la percepción de utilidad y la facilidad de uso, lo que respalda la efectividad de la difusión directa en ciertos contextos.

Difusión indirecta: implica la prestación de servicios por parte de terceros especializados, donde el agricultor se limita a contratar el servicio. Esta modalidad es común en regiones donde los agricultores enfrentan limitaciones económicas y técnicas para operar la tecnología por sí mismos o tienen una superficie menor a las 50 hectáreas, por lo que adquirir un dron no es rentable. Estudios como el de Yue et al. (2022) destacan que el acceso a servicios externalizados, como la aplicación de pesticidas mediante drones, puede aumentar la adopción de tecnologías digitales en la agricultura, especialmente entre pequeños productores.

Ambas modalidades se complementan ya que la venta directa aceleró la adopción tecnológica por parte de los grandes agricultores, mientras que la prestación de servicio dio el acceso a regiones con restricciones técnicas y/o económicas.



* Servicio de aplicación de fertilizantes y/o pesticidas

** Venta de insumos agrícolas + aplicación de los mismo con dron

Figura 10: Ruta de comercialización y prestación de servicios con drones en México: de la fabricación al cliente objetivo

Fuente: Elaboración propia con datos recabados en el análisis de estudios de casos múltiples

- **Marco XaaS aplicado al mercado de drones para la agricultura mexicana**

Duan et al. (2016), señala que la tendencia a ofrecer todo como un servicio (XaaS) muestra un escenario prometedor donde la arquitectura y el diseño están orientadas a servicios que respalden el desarrollo y la implementación de aplicaciones de software como servicios. En la misma línea, IBM (2024) define a XaaS como la entrega de soluciones, aplicaciones, productos, herramientas y tecnologías suministradas como un servicio. Con el tiempo este modelo se ha ido incorporando a los diferentes sectores, y para efectos de la investigación en este apartado, se presenta una propuesta para la adaptación en el sector primario, especialmente en el mercado de drones agrícolas donde se tiende a seguir el modelo de *todo como un servicio*, ya que al final una empresa completa es considerada como un importador que vende los drones a todos los actores que

juegan en el mercado, oferta seguimiento y capacitación, venta de refacciones, soporte técnico y tenga área para ofertar la aplicación, así como la toma de imágenes para posteriormente diseñar los mapas de prescripción.

El principio central de XaaS sostiene que un activo, ya sea software, infraestructura, maquinaria o insumos, puede ofrecerse como servicio bajo demanda acompañado de datos y soporte. En la agricultura se aplica esta lógica para describir paquetes integrados de insumos, soporte, asesoría técnica y maquinaria para los agricultores (Abetu et al. 2024), mientras que la literatura sobre la adopción de tecnologías digitales en la agricultura subraya la necesidad de demostrar utilidad práctica para activar la adopción (Guebsi, 2024).

Utilizando las dos modalidades de difusión encontradas, se proponen las siguientes siglas para el contexto del mercado de drones, desarrolladas con base en las siglas del XaaS:

Cuadro 7: Capas XaaS adaptadas al mercado de drones agrícolas en México

Siglas XaaS	Siglas adaptadas¹¹	Actores que la desempeñas	Que obtiene el cliente
SaaS (Software as a Service)	HaaS (Hardware as a Service)	Imp 1 y 2, Dis 1 y 2	El dron, refacciones, capacitación y asesoramiento técnico.
PaaS (Plataform as a Service)	DaaS (Drone as a Service)	PSD1, 2, 3 y 4	Aplicación de los insumos agrícolas por hectárea con la tecnología.
DBaaS (Database as a Service)	DataaaS (Data as a Service)	VIAD 2	Toma y procesamiento de las imágenes capturadas con los Mavic.
IaaS (Infrastructure as a Service)	IaS (Input as a Service)	VIAD 1 y 2	Venta de insumos agrícolas, más la aplicación.

Fuente: Elaboración propia con datos de IBM (s.f.).

Esta propuesta lleva implícita que una misma empresa puede desempeñar más de un rol dentro del mercado de drones agrícolas, sin embargo, esto no significa que todas deban diversificarse para cubrir cada capa XaaS. Más bien, cada actor

¹¹ Se mantienen las siglas en inglés para homogeneización con las siglas de XaaS.

aporta un componente específico (equipo, operación, datos, insumo) que en conjunto conforman el ecosistema XaaS aplicado al mercado de drones.

- **Perfil de clientes**

Los cuatro mecanismos atienden segmentos de clientes parcialmente idénticos, pero diferenciados por la escala de hectáreas que poseen, su función y la forma en la que acceden al dron. Los Imp venden principalmente a los Dis, grandes y medianos agricultores, y algunas universidades y dependencias gubernamentales quienes ocupan la tecnología para cubrir programas específicos. Los Dis, por su parte, abastecen a los PSD, VIAD, grandes y medianos productores, cooperativas de agricultores, instituciones académicas y gobiernos estatales.

Por su parte, los PSD ofrecen su servicio a los agricultores que poseen diez hectáreas en adelante y que no les resulta redituable comprar un dron. Mientras que VIAD atienden a su cartera de clientes de agroinsumos agrícolas, aunque VIAD2 tiene una peculiaridad, ya que atiende al segmento de pequeños agricultores que va de media hectárea en adelante, siendo este de interés ya que mientras el resto de empresas entrevistadas argumentaban que no es redituable atender agricultores que tengan menos de diez hectáreas, este emprendedor demostró que generando una buena táctica de atención se puede atender a este segmento programando a los agricultores de una zona para el mismo día, sin exceder la distancia entre 15 min de traslado entre cada uno, procurando cuidar las condiciones climáticas para realizar una buena aplicación.

- **Comercialización comparada**

Con base a la distinción entre Upstream (Aguas Arriba) y Downstream (Aguas Abajo) propuesto en la cadena de valor por Porter (1985), las técnicas de comercialización observadas en los casos se agruparon de la siguiente manera:

- **Aguas arribas, comprende a los Imp y Dis**, ya que como se describió previamente Imp se dedica al transporte y logística con la idea de que la importación de la tecnología se realice de la mejor manera, para

posteriormente movilizarla a través de los distribuidores a los cuales solo se les brinda capacitación y asesoramiento técnico, y/o a grandes y medianos agricultores con quienes en ocasiones se hacen demostraciones en campo. Mientras que los Dis se encargan de distribuir los drones en todo el país vendiéndolos a PSD, VIAD, grandes y medianos agricultores, gobiernos, instituciones universitarias, cooperativas, etc., se encargan de realizar demostraciones en campo que resultan decisivas para el cierre de ventas. En sus propias palabras, Dis1 señala que *“No es igual mostrarles que solo explicarles su función, cuando ven al dron en acción se interesan y se cierran las ventas”*. Por su parte, Dis2 menciona que *“Hasta que no lo ven funcionando, no creen en las ventajas...”*.

De esta manera el modelo Imp cumple el rol de importar la tecnología, mientras Dis la comercializa, acompañada de una experiencia comprobable.

- **Aguas abajo, comprende a los PSD y VIAD**, quienes interactúan directamente con los agricultores. Para ello, los PSD pasaron por romper barreras culturales de los agricultores basando su venta con demostraciones gratuitas: *“Sin demostración inicial difícilmente contratan el servicio”*. Una vez que se ganan la confianza de dos o tres clientes y sobre todo si son los más fuertes e influyentes de la región, entra en función la técnica “boca a boca”, donde los mismos agricultores que rentan el servicio recomiendan a sus pares, y así su cartera de clientes aumenta: *“Si convencemos al principal agricultor, ya no ocupamos hacer demostraciones de campo, ya que los agricultores al verlo como guía implementan lo que este agricultor hace”*, PSD3. En cambio, para los VIAD, usar drones les funcionó como un plus que ayuda a la aplicación correcta de sus productos, manteniendo la integridad de sus marcas: *“Me han pedido aplicar de la competencia, pero les digo amablemente que no...”* VIAD2, por lo cual la comercialización del servicio se ve subordinada a la venta de insumos.

Por tanto, las prácticas de comercialización que se realizan *aguas arriba* llegan a condicionar la viabilidad de los actores que operan *aguas abajo*, tanto de manera positiva como negativa. Por ejemplo, cuando un dron o una refacción no se surte a tiempo al Imp o Dis, se pone en riesgo la operación de los agricultores que tienen su propio dron, así como de los PSD, mientras que los VIAD pueden optar por sugerir la aplicación manual para no afectar el desarrollo del cultivo. Por el lado positivo, las demostraciones de los Dis permiten prescindir de las primeras demostraciones a los PSD, ya que, dependiendo del cultivo, los agricultores están en constante comunicación. En suma, la adopción de la tecnología no depende únicamente de la decisión del agricultor, sino que también influyen de manera determinante los arreglos comerciales entre los actores de toda la cadena de suministro y las estrategias que desplieguen para amortiguar riesgos y reducir incertidumbres.

- **Barreras y limitaciones**

A lo largo del análisis de cada mecanismo de difusión, se encontraron barreras que limitan la adopción de los drones, destacando cinco que predominan en los cuatro mecanismos. Chacko (2024, p.17) afirma que “las barreras para la adopción de tecnología en la agricultura son complejas e involucran factores económicos, sociales y psicológicos que impiden a los agricultores utilizar nuevas tecnologías”. A continuación, se enlistan las mencionadas por parte de los entrevistados:

- **Resistencia cultural y desconocimiento de los drones**

Las brechas generacionales entre los agricultores y los vendedores de drones y otras tecnologías suelen ser un obstáculo. Generalmente los agricultores más jóvenes tienen una mejor comunicación y aceptación de las nuevas tecnologías, mientras que los agricultores con mayor edad y de zonas marginadas muestran mayor resistencia al cambio dado su apego a las prácticas agrícolas tradicionales (Chacko, 2024), aplicando el dicho *más vale malo por conocido que bueno por conocer*, Imp2 menciona que entre las dudas más recurrentes por parte de los

agricultores es el uso de agua, debido a que por años el uso del agua es mayor a los 100 litros. Esta creencia se combate mediante la educación y demostración al productor, lo cual permite contrastar resultados entre los métodos tradicionales y los drones.

Dis1 señala: *“No es lo mismo explicarles que mostrarles. Cuando ven el dron en acción se interesan, preguntan más e incluso puedo completar una venta”*. Por su parte, PSD 4 afirma: *“reduciendo cantidades de agua no le va a llegar bien el producto a todo el cultivo...”*. Finalmente, Dis2 menciona que los agricultores se reusaban a cambiar o complementar sus métodos tradicionales. *“Muchos no entienden cómo el dron puede hacer el trabajo del tractor o de la mochila... Hasta que no lo ven funcionando, no se convencen”*.

Esta barrera es de las más fuertes en superar, ya que implica reeducar al agricultor, mostrar las ventajas de la nueva tecnología, romper con la resistencia o miedo a lo desconocido, lo cual se ha logrado mediante las demostraciones en campo.

➤ **Alto costo de la tecnología y el requerimiento de personal especializado para operarla.**

Los cuatro mecanismos mencionaron que la mayoría de sus clientes perciben el costo del dron como elevado, debido que la inversión tiende a retornarse en tres años aproximadamente. Aun cuando el precio de una tractor ronda los 700 mil pesos mexicanos (John Deere, 2025), lo ven más accesible porque tiene diversos usos a lo largo del ciclo agrícola. Esto les hace suponer que la maquinaria tradicional tiene costos menos elevados, además de que su vida útil suele extenderse por más de cinco años, en comparación con los drones cuyo costo es percibido como elevado y debido a las continuas actualizaciones y modelos que se lanzan cada año, se vuelven relativamente obsoletos antes de los cinco años. Asimismo, se ha generado la creencia de que se requiere una persona especializada para pilotarlos. Al respecto, Michels et al. (2020) mencionan que una de las razones para no usar drones en la agricultura es porque los no adoptantes los perciben como demasiado costosos. Pandeya et al. (2025)

sostienen que la *tecnología es excelente si es accesible para todos*, por su parte Barnes et al. (2019) señalan que los agricultores con altos ingresos son los principales adoptantes.

➤ **Entrada reciente al mercado**

Cada empresa superó desafíos regionales al operar con una tecnología de reciente inserción, sumando las dos barreras antes señaladas. Esto las llevó a desarrollar técnicas y estrategias innovadoras para mantenerse competitivas en un mercado con potencial de crecimiento. Haftor et al. (2023) y Mwamba, (2024) señalan que las empresas que ingresan por primera vez a un mercado deben invertir en acciones de sensibilización, demostraciones en campo, alianzas con actores locales y una comunicación que enfatice beneficios tangibles, a fin de superar la resistencia al cambio y la percepción de riesgo asociada a la novedad tecnológicas.

➤ **La escala de los agricultores**

Ruzzante et al. (2021) señalan que el tamaño de la tierra es uno de los factores que tiende a convertirse en una barrera para los pequeños agricultores, debido a que las nuevas tecnologías sólo serán adoptadas por agricultores cuya cantidad de hectáreas haga rentable su adopción. En el caso de los drones se requiere una superficie mínima por aplicación de 30 *hectareas* de acuerdo con los actores entrevistados y a (Domínguez, (2023). El Censo Agropecuario 2022 del INEGI reporta que de las 32.1 millones de hectáreas de superficie agrícola, solo se cultivan 26.1 millones de hectáreas, y más del 80% de las unidades de producción activas tienen menos de 5 hectáreas, y solo 2% del total son unidades con más de 100 ha. Esta reducida escala representa una barrera importante para la adopción de los drones, misma que puede ser superada en gran parte gracias a la intervención de los PSD, tal como ha ocurrido con el tractor, que si bien es utilizado en 40.7% de las unidades de producción, solamente el 18.7% tiene un tractor en propiedad, mientras que el resto contrata los servicios de un maquilero (Inegi, 2022)

Dis2 menciona que una de las condicionantes encontradas en algunos predios de extensión grande es que se encuentran dispersas en diferentes zonas, lo que se traduce en una dificultad: *“Hay quienes tienen buena cantidad de tierra, pero repartida en diferentes lugares”*.

➤ **Limitación con el procesamiento y la interpretación de las imágenes capturadas**

Esto se debe a que para el procesamiento de las imágenes se requieren conocimientos técnicos como la clasificación supervisada, el uso de redes neuronales, etc., que demandan software especializado (Cottrell et al., 2024), del cual México carece y más aún en zonas rurales donde la conexión de internet es deficiente.

Sin el soporte técnico, la tecnología de drones multiespectrales no es factible, ya que la mayoría de los agricultores se ven limitados tanto al uso como al procesamiento de las imágenes debido a la falta de software, hardware y la asistencia técnica profesional, frenando la adopción de tecnologías multiespectrales para la agricultura (Guebsi et al., 2024).

El análisis transversal confirma que la difusión de los drones en la agricultura mexicana enfrenta barreras económicas y culturales, las cuales se han ido atenuando con las demostraciones en campo (Figura 6), la agrupación de superficies y de manera esencial, al ofertar la aplicación como servicio por parte de los PSD, lo cual ha permitido llegar a más agricultores sin que estos tengan que adquirir los drones. El desafío ahora es llevar la tecnología a los agricultores más pequeños y a los más alejados de las zonas urbanas, pues no se debe pasar por alto el hecho de que los pequeños productores tienen el 80% de las unidades productivas del país. La experiencia de VIAD 2 demuestra que sí se puede atender a esta población, sí y solo sí, se diseñan estrategias y políticas públicas que generen valor compartido y consoliden un resultado ganar-ganar entre proveedores y agricultores.

4.7. Factores que inducen y aceleran el uso de drones agrícolas en México

La Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA 2014, 2017 y 2019) y el Censo agropecuario 2022, muestran los dos problemas más acuciantes que afectan a los productores: 1) altos costos de insumos y servicios, 2) escasez de mano de obra (Cuadro 8). Los resultados de las entrevistas realizadas con los diversos actores coinciden con estos dos problemas percibidos a nivel nacional, y que han impulsado la adopción de los drones, en particular en las fases de aplicación de los agroquímicos.

Cuadro 8: Problemática percibida por los agricultores

Problemática	Repuesta de los productores mexicanos (%)			
	ENA 2014	ENA 2017	ENA 2019	CENSO 2022
Altos costos de insumos y servicios	83.4	75.7	73.8	88.8
Escasez de mano de obra				17.6

Fuente: Adaptado de ENA 2019 y CENSO 2022

A partir de las entrevistas realizadas a empresas del sector agrícola (Imp, Dis, PSD y VIAD) se identificaron los siguientes factores clave que explican la creciente adopción de drones en México.

- **Mano de obra**

Diversos análisis coincidieron en que el sector agropecuario mexicano experimenta una disminución de la fuerza laboral. Romo (2024) reportó un déficit cercano al 30 % de jornaleros, mientras que Villanueva (2024) documentó la pérdida de 192 mil trabajadores agrícolas en un solo año; dicho retroceso obedeció a salarios poco competitivos, migración interna y la atracción de empleos industriales y de servicios. Un informe de Jornamex (2024) corroboró estas tendencias al analizar padrones del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), y subrayó la urgencia de mecanismos de modernización y formalización laboral.

El director del Consejo Nacional Agropecuario (CNA), atribuyó la escasez de mano de obra a la competencia con los sectores manufactureros y de construcción, a que los programas gubernamentales entregan apoyos que desincentivaban a buscar un empleo y al crimen organizado que recluta a los jóvenes.

La ENOE mostró que en el periodo 2021 a 2025 la población ocupada en el sector primario pasó de 6.4 a 6.1 millones de personas, con un pico de 7 millones en el tercer trimestre del 2022 y un mínimo 6.1 millones en el primer trimestre 2025 (Figura 11), lo cual evidencia una caída en el número de personas ocupadas. En términos de la PEA, se redujo de 12.2% al 10.4%. El retroceso ha sido de 0.9 millones respecto al pico en 2022 y la pérdida de 1.8 puntos porcentuales en la participación laboral, lo cual confirma la creciente escasez de mano de obra agrícola. Los datos detallados de la agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca mostraron una baja de 228 mil personas en el primer trimestre de 2025.

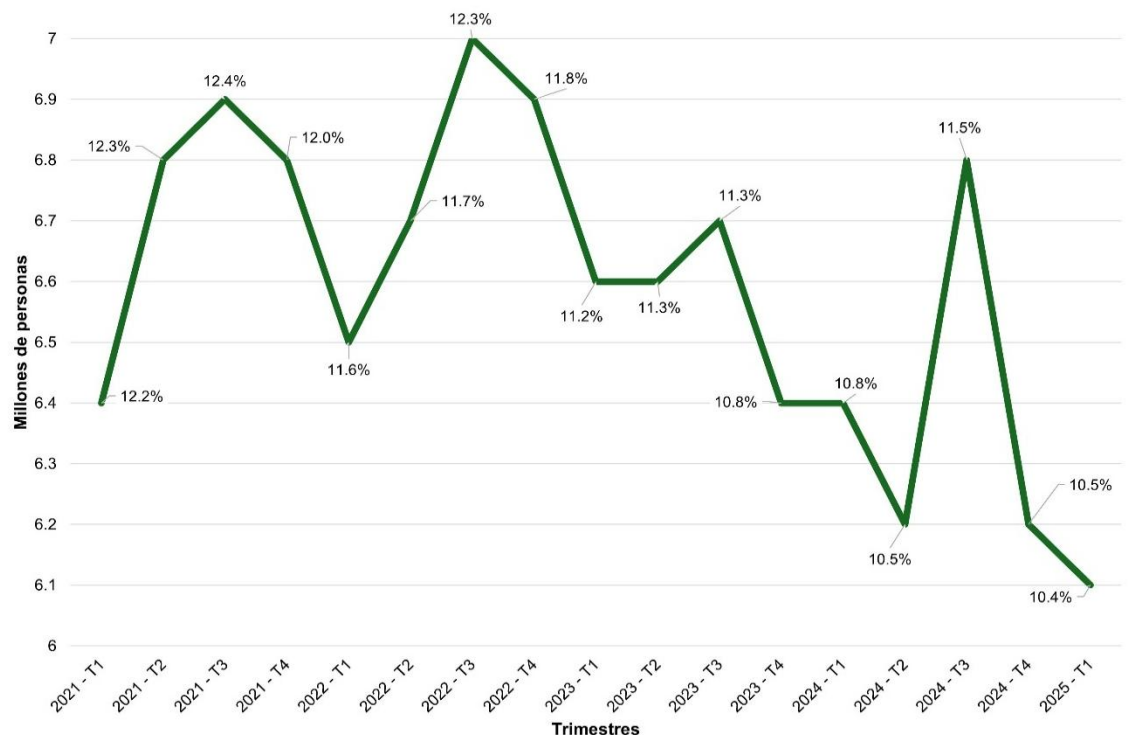


Figura 11: Tendencia trimestral de las Personas Económicamente Activas (PEA) en el sector primario (ENOE 2021-T1- 2025-T1)

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI-ENOE 2021 a 2025

PSD2 dice: *“buscamos aplicar en temporadas donde se deben fumigar los cultivos ... ya que es el momento en el que batallan los productores porque no encuentran personas para la aplicación con mochila”*

Estas evidencias respaldan que los drones pueden mitigar la escasez de mano de obra al reducir requerimientos de jornales, junto con cinco de los encuestados que subrayaron que los drones son significativamente más eficientes que los métodos tradicionales. Por ejemplo, mientras que un trabajador tarda entre 2 y 4 horas para fumigar una hectárea y un tractor requiere alrededor de 30 minutos, un dron puede realizar la misma tarea en aproximadamente 3 minutos.

PSD4 *“Los drones han solucionado el problema de la falta de personal, permitiendo programar tareas en grandes extensiones con un ahorro significativo de tiempo y costos”.*

Con la tendencia descendente de ocupación en el sector agrícola observada en la ENOE (2021-2025), y los testimonios de campo, junto con las ventajas técnicas de los drones de pulverización, se confirma que la escasez de mano de obra es un factor que induce la adopción de los drones, debido a que sustituyen horas-hombre. Tal como menciona Quan et al. (2023), en comparación con la aplicación manual con mochila, los drones aplican con alta eficiencia y flexibilidad, bajos requerimientos de mano de obra y menor exposición del operador a los pesticidas.

- **Uso eficiente del recurso agua**

De acuerdo con la UNESCO (2024), la demanda y uso del agua en la agricultura concentra aproximadamente el 72% de las extracciones de agua dulce; en las economías de renta baja destinan el más 90% del agua al riego agrícola. Esto convierte al sector agrícola en altamente dependiente del acceso al agua, convirtiéndose en el sector más vulnerable a los riegos hídricos relacionados al cambio climático.

A escala nacional, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2024) calculó que el sector agropecuario utiliza el 70% del agua extraída a nivel nacional, donde la

agricultura es el principal consumidor. Por ello, en coordinación con la SADER, la CONAGUA ha propuesto tecnificar 200 mil hectáreas de riego para ahorrar aproximadamente 3,000 Mm³ al año y beneficiar a más de 225 mil personas productoras, contribuyendo a disminuir la huella hídrica en la producción de alimentos.

Los efectos del calentamiento global están presentando estragos en el recurso hídrico. Pedrozo Acuña (2022) señala que el aumento de la evaporación del agua de los suelos y cultivos, combinado con la reducción de precipitaciones, están generando escasez hídrica severa y una desecación del suelo en el noreste de México.

En este contexto, el uso de drones en la agricultura ha permitido revolucionar la eficiencia en la aplicación de insumos agrícolas (líquidos), ya que es una tecnología de bajo consumo de agua. Ramteke et al (2025) mencionan que los drones han surgido como una solución de pulverización, reportando ahorros de agua cercanos al 70% frente a métodos convencionales. Estudios en campo como el de Chen et al. (2019) refuerzan esta ventaja, ya que utilizó 15 y 22 litros por hectárea en cultivo de trigo para la aplicación de pesticidas, concluyendo que la reducción del volumen de agua no afectó la eficiencia del control de malezas. Mientras que Gaadhe et al., (2025) observaron que la tasa de aplicación promedio con drones fue de 26.96 l/ha, con una eficiencia del campo de 75% versus la mochila aspersora que mostró una tasa de aplicación promedio de 490.28 l/ha con una eficiencia de 87.23% en campo, demostrando que la aplicación con drones genera un ahorro de agua hasta de un 94.5% en comparación con el sistema de mochila.

Los resultados obtenidos en estos estudios coinciden con los datos recolectados en campo: ocho de los diez entrevistados mencionaron que han pasado de utilizar 200 litros por hectárea a tan solo 15-25 litros, adaptándose a nuevas restricciones de acceso al recurso. PSD2 señala: *“Al principio nos dejaban abiertos los canales para tomar el agua que necesitábamos en las fumigaciones. Con el paso de los*

años, nos comenzaron a pedir la cantidad exacta de agua a utilizar y la almacenan uno o dos días previos a la aplicación”.

La Figura 12, compara el volumen de agua requerido por hectárea según el método de aplicación. El dron consume $\approx 90\%$ menos que el tractor y mochila aspersora, y 50% menos que la avioneta, la cual también reduce el consumo de agua, sin embargo, se requieren superficies mayores a 50 ha para que sea rentable. Por lo tanto, esta característica se convierte en un factor que impulsa el uso y adopción del dron, debido que sirve como medida preventiva de eficiencia en todas las zonas productoras y especialmente en donde las restricciones de acceso al agua son más marcadas. Además, si se sumara la aplicación de tasa variable, se podría reducir aún más el consumo, tal como lo demuestran Chen et al. (2025) .

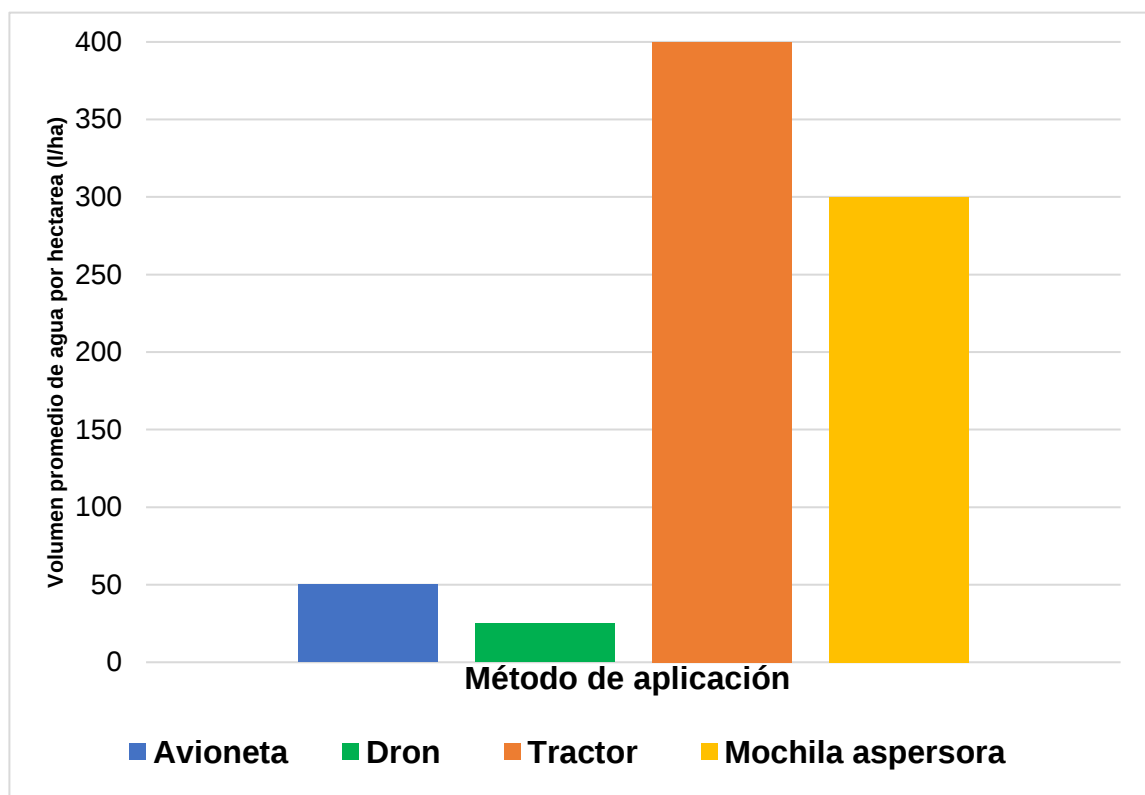


Figura 12: Comparación del volumen de agua utilizado por diferentes métodos de aplicación de insumos agrícolas

Fuente: Elaboración propia con datos de entrevistas

- **Mitigación a la exposición a agroquímicos**

Las personas encargadas de manejar los insumos agrícolas se encuentran expuestas a la inhalación y contacto directo con los insumos agrícolas en las actividades de mezclar, cargar, limpiar los equipos de aplicación, ingreso al campo de aplicación y al realizar las aplicaciones de insumos agrícolas, especialmente si se realizan con mochilas de aspersión. En comparación con la aplicación con tractor, la exposición del operador depende del modelo de tractor: con cabina cerrada el contacto es bajo, pero sin cabina la exposición es media respecto a la mochila. En este sentido, Yan et al. (2021) señalaron que la demanda de pesticidas es rígida y de largo plazo. Aún con estas características, las personas encargadas del manejo continúan expuestas a niveles altos de pesticidas debido al uso inadecuado de equipo de protección personal.

La exposición de las personas que aplican los insumos agrícolas depende de diferentes factores como el tipo de cultivo, la experiencia de aplicación, las condiciones climáticas y el equipo de pulverización; siendo obvio que un piloto de dron tiene una menor exposición en comparación con un operador de mochila aspersora. En los resultados aportados por Yan et al. (2021) la exposición promedio con mochila es de 1,952.02 mg/kg, lo cual es mucho más alto en comparación del resultado obtenido con el piloto de drones, que fue de 134.51 mg/kg. Es importante destacar que para este estudio ambos operadores llevaban un overol a su medida de algodón y desechable, el cual se aisló una vez terminada la aplicación y posteriormente se canalizó al análisis químico para obtener los resultados ya mencionados.

Sánchez-Fernández et al. (2025) utilizaron la comparación de tres herramientas de aplicación (mochila, dron y tractor), mostrando que la exposición dérmica total del piloto fue considerablemente menor con dron que con los métodos convencionales, debido al contacto directo mínimo con los fitosanitarios durante la aspersión. No obstante, en tareas como mezclar, cargar, limpiar y purgar, la exposición aumentó cuando dichas labores recayeron en el propio piloto; si estas actividades las realiza un auxiliar, la exposición en estas etapas fue comparable

entre drones y métodos convencionales y pudo reducirse mediante el uso de indumentaria adecuada. De igual manera identificó que las partes del cuerpo más vulnerables durante las aplicaciones son las manos, seguida de las piernas, brazos y torso.

Finalmente, Kuster et al. (2023) reportaron que la pulverización con dron redujo hasta en 99% (Figura 13) la exposición del aplicador respecto de la aplicación con mochila, disminuyendo la necesidad de equipo adicional frente a este último método. Finalmente, tanto la evidencia empírica como los testimonios recogidos en entrevistas señalaron beneficios percibidos en la salud; por ejemplo, en la disminución de jaquecas asociadas al menor contacto con químicos, lo cual hace de los drones una alternativa aceptable en la agricultura mexicana, siendo un factor que impulsa su uso y adopción.

	 Potential Exposure (mg/person/kg applied/day)	 Actual Exposure (mg/person/kg applied/day)	 Actual Exposure with gloves (mg/person/kg applied/day)
Drone Study 75th centile, pilot	0.67	0.40	0.03
	 Potential Exposure (mg/person/kg applied/day)	 Actual Exposure (mg/person/kg applied/day)	 Actual Exposure with gloves (mg/person/kg applied/day)
	 Exposure reduction (drone vs handheld)	 Exposure reduction (drone vs handheld)	 Exposure reduction (drone vs handheld)
Bayer Safety standard, handheld normal crop, application only	159.7 → 99.6%	10.9 → 96.3%	3.5 → 99.3%
Bayer Safety standard, Handheld dense crop	324.6 → 99.8%	50.3 → 99.2%	42.9 → 99.9%
AOEM, 75th centile, backpack, downwards	99.3 → 99.3%	10.5 → 96.1%	8.9 → 99.7%
AOEM, 75th centile, backpack, upwards	65.4 → 99.0%	3.9 → 89.7%	1.2 → 97.8%
CLI - Handheld backpack	N/A → N/A	29.4 → 98.6%	25.0 → 99.9%

Figura 13: Comparación de la exposición de los aplicadores que utilizan drones con dispositivos portátiles

Fuente: Kruster et al. (2023)

4.8. Propuesta de una política pública para el uso de drones agrícolas en pequeños productores de México

Las políticas públicas en México son instrumentos diseñados por actores gubernamentales para abordar necesidades colectivas mediante regulaciones, programas, subsidios o inversiones, siguiendo un proceso de diagnóstico, formulación, implementación y evaluación basado en evidencia y orientado a generar cambios perdurables (Secretaría General de la Cámara de Diputados, 2022). En el sector agrícola, donde los pequeños productores (≤ 10 ha) representan el 80% de las unidades de producción según el Censo Agropecuario 2022 (INEGI, 2022), la adopción de tecnologías como los drones agrícolas ofrece una oportunidad para incrementar la productividad y la sustentabilidad. Sin embargo, barreras como los altos costos y la falta de capacitación limitan su acceso. Esta propuesta plantea una política pública que integre incentivos para la adopción y uso seguro de drones, aprovechando el padrón de pequeños productores de Producción para el Bienestar (PpB) y la capacitación de jóvenes rurales a través de Jóvenes Construyendo el Futuro (JCF), para fortalecer la autosuficiencia alimentaria y el desarrollo rural equitativo.

4.8.1. Incentivos para la adopción y uso seguro de drones agrícolas por pequeños productores (≤ 10 hectáreas), Integrados con Producción para el Bienestar (PpB) y Jóvenes Construyendo el Futuro (JCF)

Las políticas públicas agrícolas en México han evolucionado desde transferencias directas hacia enfoques de productividad y sustentabilidad. En 1993, PROCAMPO surgió para mitigar la desventaja competitiva de los productores nacionales ante el TLCAN, apoyando cultivos como maíz, frijol, trigo, sorgo, soya, arroz, algodón, cártamo y cebada (SADER, 2018). Durante 2007-2012, como “PROCAMPO para Vivir Mejor”, mantuvo su lógica de subsidios directos, y en 2013-2018, como “PROCAMPO Productivo”, se orientó a la vinculación comercial. Desde 2019, bajo la Cuarta Transformación, Producción para el Bienestar (PpB) reemplazó a PROCAMPO, enfocándose en la

autosuficiencia alimentaria y priorizando pequeños y medianos productores (≤ 20 ha en temporal, ≤ 5 ha en riego) de cultivos como maíz, frijol, café, cacao, caña de azúcar, nopal, miel, y otros granos, oleaginosas y cultivos tradicionales (SADER, 2025a; Teruel Belismelis et al., 2025). En 2025, PpB beneficia a 2 millones de productores con un padrón georreferenciado que facilita la focalización de apoyos (SADER, 2025a).

Esta trayectoria es clave para la política pública que se propone de incentivos para la adopción y uso seguro de drones agrícolas por pequeños productores (≤ 10 ha). Los drones, que incrementan la productividad en un 20-30% y reducen el uso del agua hasta en un 90% (rangos bajo condiciones y cultivos específicos), enfrentan barreras como altos costos y falta de capacitación. Integrar PpB con Jóvenes Construyendo el Futuro (JCF), que capacita a 3 millones de jóvenes en 2025, permite ofrecer subsidios para drones vía PpB y formación técnica en su operación segura a través de la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT) de JCF (CIJ, 2025). El padrón de PpB asegura una focalización precisa, mientras JCF fomenta el empleo rural y el arraigo, alineándose con los objetivos de innovación y equidad en el campo mexicano.

I. Definición del problema

La adopción de drones por los pequeños productores (≤ 10 ha) en México sigue siendo prácticamente nula, a pesar de sus beneficios comprobados. Esta baja penetración no se debe a la ausencia de tecnología, sino a una combinación de barreras estructurales que limitan su accesibilidad: el costo inicial elevado frente a los ingresos de productores; la escasez de habilidades técnicas para operar y mantener los equipos; la dificultad de acceso a refacciones y soporte técnico en zonas rurales; la oferta de servicios de maquila, que exige escalas mínimas de ≥ 10 ha, excluyendo a la mayoría; y las normas regulatorias, como la NOM-107-SCT3-2019, que requieren certificaciones costosas y complejas para los operadores. Esta situación se agrava por la escasez de mano de obra y agua en el sector agrícola, especialmente en regiones de temporal como el sur-sureste que carecen de herramientas para enfrentar estos desafíos. A pesar de la

existencia de programas federales como Producción para el Bienestar (PpB), ninguno aborda directamente estas barreras ni promueve la integración de drones como solución tecnológica viable, dejando un vacío que perpetúa la baja productividad del campo mexicano.

II. Justificación

En México, los pequeños productores agrícolas (con ≤ 10 ha) representan el 80% de las unidades de producción, según el Censo Agropecuario 2022 del INEGI, pero enfrentan una marcada brecha tecnológica que limita su productividad y competitividad. Esta brecha se agrava por barreras como los altos costos de adquisición de los drones, la escasez de mano de obra en zonas rurales y la falta de acceso a capacitación técnica, identificados a lo largo de la investigación previamente realizada, lo que perpetúa la dependencia de métodos tradicionales. Ante este panorama, y considerando la evolución de políticas como PpB, que ya beneficia a productores con subsidios, surge la necesidad de una política pública específica que integre incentivos directos para la adopción de drones agrícolas, cubriendo totalmente sus costos a través de un programa dedicado y vinculando JCF para formar pilotos certificados y equipos de trabajo locales. Esta integración no solo aprovecha el padrón georreferenciado de PpB para una focalización precisa en productores vulnerables, sino que establece centros de servicio estatales exclusivos para unidades menores a 10 hectáreas, asegurando un acceso equitativo sin intermediarios privados y alineándose con los objetivos nacionales de desarrollo rural inclusivo.

Esta propuesta es esencial porque transforma la asistencia reactiva en una estrategia proactiva de innovación accesible, mitigando la deserción rural y fortaleciendo la autosuficiencia alimentaria en cultivos prioritarios como maíz y frijol. Como beneficio final, impulsará un aumento moderado en la productividad, reducirá costos operativos y ambientales para los agricultores, y generará empleo juvenil en el campo, contribuyendo a un agro más resiliente y equitativo.

Asimismo, esta propuesta se alinea con el Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2025-2030 (DOF 01/09/2025), derivado de del Plan Nacional de Desarrollo, que busca atender los desafíos diagnósticos del sector: baja productividad, sequía prolongada y altos costos de insumos. En este sentido se contribuye a los objetivos establecido en el programa sectorial (SADER, 2025, p.8):

- Objetivo 1: Contribuir a la soberanía y la autosuficiencia alimentaria nacional incrementando la producción agropecuaria, pesquera y acuícola.
- Objetivo 4: Aumentar la sostenibilidad hídrica en la producción de alimentos agrícolas, pecuarios y acuícolas.

También, se articula con la línea de acción 1.1.1 del programa, que busca mejorar la productividad de cultivos en el sur-sureste y territorios con potencial productivo mediante fomento agrícola y contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 que buscan abordarse en el PSADR: directamente al ODS 2 (Hambre Cero) al elevar la producción de alimentos básicos, e indirectamente al ODS 6 (Agua limpia y Saneamiento) por su eficiencia hídrica y al ODS 13 (Acción por el Clima) al reducir la huella ambiental, alineándose con la visión de la Cuarta Transformación de priorizar a los pobres y fortalecer la soberanía alimentaria establecidos en el programa sectorial.

III. Objetivos

III.I. Objetivo general: Implementar el uso seguro y eficiente de drones agrícolas en unidades de producción agrícola de menos de 10 ha, mediante la formación de cooperativas constituidas exclusivamente por miembros del padrón de Producción para el Bienestar (PpB), priorizando zonas clave de cada estado según un análisis de necesidades (ordenado descendientemente por prioridad, basado en concentración de productores ≤ 10 ha y otros

indicadores de vulnerabilidad), y utilizando un mapa de calor para focalizar en áreas de mayor densidad de pequeños productores.

III.II. Objetivos específicos:

- Lograr que al menos el 15% de los productores con ≤ 10 ha, identificados en un padrón focalizado de PpB, formen o integren cooperativas y accedan a un mínimo de dos servicios de drones por ciclo de cultivo, optimizando recursos y fomentando la colaboración local.
- Capacitar y certificar a operadores (provenientes de Jóvenes Construyendo el Futuro, JCF) en el manejo, mantenimiento y operación segura de drones, asegurando personal calificado para las cooperativas en las zonas prioritarias.
- Establecer requisitos específicos para la constitución de cooperativas (ej., mínimo de miembros PpB, plan de trabajo con calendarización de cultivos y aplicaciones), junto con acuerdos con importadores y distribuidores para soporte técnico, garantizando tiempos de respuesta para mantenimiento, reparaciones y entrega de refacciones.

IV. Alcance

Esta política pública se dirige exclusivamente a productores agrícolas con menos de 10 ha inscritos en el padrón de PpB, que asciende a un total de 1,984,351 miembros, con el objetivo de abarcar todos los estados de México a mediano plazo. Inicialmente, se priorizarán las zonas de mayor concentración de estos productores, identificadas mediante un mapa de calor, comenzando con un piloto en los diez estados que concentran aproximadamente el 75% del padrón PpB: Chiapas (305,076 productores), Oaxaca (280,370), Veracruz (189,568), Guerrero (154,866), Puebla (143,631), Estado de México (103,654), Michoacán (87,596), Hidalgo (79,017), Jalisco (70,801) y Guanajuato (61,002). Esta focalización responde a la alta densidad de pequeñas unidades en estas regiones, donde predominan cultivos de temporal como maíz y frijol, a diferencia de estados con

baja representación, como Baja California (41 miembros). La fase piloto iniciará con 100 drones distribuidos en centros de servicio estatales, diseñados para atender al menos el 15% del padrón PpB (aproximadamente 297,653 productores) durante las temporadas de siembra de temporal, según estimaciones técnicas de cobertura por jornada (Anexo 3). La implementación se coordinará con gobiernos estatales, municipales y con la cooperativa formada por los miembros PpB, y tras la evaluación del primer ciclo, se rediseñará la estrategia para decidir si se expande a los estados restantes o se refuerza la dotación en las zonas prioritarias, ajustando según demanda e impacto.

V. Marco normativo

La implementación de esta política pública se fundamenta en el marco normativo vigente en México, adaptado para garantizar el uso seguro y eficiente de drones agrícolas en unidades de producción con menos de 10 ha inscritas en PpB. La Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC), en coordinación con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), regula la operación de drones mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019, vigente desde 2020, que establece estándares generales para su uso, incluyendo requisitos específicos para drones agrícolas. Entre estos se encuentran: la certificación obligatoria de pilotos mediante exámenes teóricos y prácticos ante la AFAC, la obligatoriedad de un seguro de responsabilidad civil para drones que excedan los dos kilogramos, un límite de altitud máxima de 120 metros sobre el nivel del suelo, y la prohibición de vuelos nocturnos sin autorización especial.

Adicionalmente, el marco se enriquece con lineamientos actualizados en 2023, que incorporan consideraciones para zonas rurales, exigiendo respeto a las actividades agrícolas y la obtención de autorización previa para operar cerca de propiedades privadas. Las normativas clave incluyen un mantenimiento regular de los equipos, la prevención de interferencias con aeronaves tripuladas, y la operación en áreas despejadas manteniendo una distancia mínima de 30 metros respecto a personas, vehículos y edificaciones, asegurando la seguridad de las comunidades rurales y la integridad de las operaciones agrícolas. Esta estructura

normativa se alineará con los centros de servicio estatales y las cooperativas de PpB, garantizando el cumplimiento en las zonas prioritarias identificadas (Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Guerrero, Puebla, Estado de México, Michoacán, Hidalgo, Jalisco y Guanajuato), y será ajustada según las evaluaciones del piloto inicial.

VI. Plan de implementación

Esta sección detalla los pasos operativos para poner en marcha la política pública, enfocándose en la formación de cooperativas exclusivas de miembros PpB, la integración de jóvenes de JCF como equipos operativos, y la adquisición de drones y equipo complementario. La implementación se alineará con el marco normativo (NOM-107-SCT3-2019 y requisitos AFAC), el alcance inicial en los diez estados prioritarios (Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Guerrero, Puebla, Estado de México, Michoacán, Hidalgo, Jalisco y Guanajuato), y con 100 drones. Se estructurará en fases secuenciales: preparación (meses 1-3), lanzamiento (meses 4-6), operación inicial (meses 7-12) y evaluación (mes 12 en adelante), con un presupuesto estimado global de 100-140 millones MXN para el primer año, financiado por fondos federales de SADER y aportes de PpB. La coordinación estará a cargo de un comité interinstitucional (SADER, AFAC y gobiernos estatales), asegurando cumplimiento regulatorio y monitoreo vía el padrón georreferenciado de PpB.

VII. Formación de cooperativas

La creación de cooperativas será el eje para acceder a los servicios de drones, promoviendo la colaboración entre pequeños productores (≤ 10 ha) inscritos en PpB. Se formarán al menos una por municipio prioritario en los diez estados iniciales, basado en el mapa de calor para maximizar cobertura. Los requisitos para constituir una cooperativa serán simplificados para facilitar el acceso, cumpliendo con la Ley General de Sociedades Cooperativas (LGSC) y alineados con los objetivos de equidad rural:

Requisitos legales y administrativos:

- Registro ante la Secretaría de Economía (SE) como sociedad cooperativa de producción agrícola, con estatutos que incluyan el compromiso con la agricultura y el uso compartido de drones.
- Presentación de un plan de trabajo simple, detallando cultivos prioritarios (ej., maíz, frijol), calendarización de aplicaciones por ciclo (ej., siembra, fumigación), y un compromiso de rotación equitativa de servicios entre miembros.
- Verificación de pertenencia ante el PpB, con documentos como CURP, RFC, comprobante de inscripción y georreferencia de parcelas (extraídos del padrón PpB).
- Aprobación ética: Declaración de no conflictos de interés y compromiso con prácticas ambientales.

Composición y diversidad:

- Mínimo de 15 miembros por cooperativa (para viabilidad operativa y compartición de costos menores, como mantenimiento compartido), con un máximo de 50 para mantener la gestión local.
- Cada miembro debe provenir de una localidad distinta dentro del mismo municipio o región, promoviendo diversidad geográfica y evitando concentración en una sola zona (verificado vía padrón PpB). Esto asegura cobertura amplia en áreas rurales dispersas, como en Chiapas u Oaxaca, donde las localidades están fragmentadas.
- Inclusión obligatoria de al menos 30% de mujeres y 20% de indígenas, alineado con datos INEGI sobre vulnerabilidad rural.
- Elección de un consejo directivo (presidente, secretario, tesorero) en asamblea inicial, con capacitación gratuita de SADER en gestión cooperativa.

Proceso de formación:

- Convocatoria vía el padrón PpB y redes locales), con talleres virtuales o presenciales en centros estatales (fase de preparación).
- Apoyo técnico de SADER para el registro (gratuito), con un plazo de 30 días para constitución una vez seleccionados los miembros.
- Inicialmente, se formarán 200-300 cooperativas en los diez estados, escalando según demanda.

Este enfoque evita la terciarización privada, empoderando directamente a los productores.

VIII. Integración de equipos humanos vía Jóvenes Construyendo el Futuro (JCF)

Los equipos operativos se conformarán exclusivamente con jóvenes del padrón JCF, vinculando la política con la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT) para generar empleo rural y arraigo. Cada centro de servicio estatal contará con equipos dedicados, capacitados en operación segura de drones conforme a AFAC.

• Selección y composición de equipos:

- Reclutamiento prioritario de jóvenes rurales (18-29 años) inscritos en JCF, enfocados en perfiles con interés en agricultura (ej., egresados de bachillerato técnico o con experiencia en campo). Se utilizará el padrón JCF (con aproximadamente 150,000 beneficiarios rurales en 2025) para una selección georreferenciada, priorizando los diez estados.
- Equipos de 4 personas por jornada de 8 horas: 1 piloto certificado (responsable de operación y cumplimiento normativo), 1 auxiliar técnico (mezcla de insumos y recargas), 1 coordinador logístico (traslados y delimitación de predios) y 1 monitor ambiental (verificación de seguridad e impacto). Esto permite rotación para cubrir hasta 3 jornadas en 24 horas durante picos de demanda.

- Mínimo 50% de participación femenina y diversidad étnica, con becas JCF (\$8,480.17 MXN mensuales + IMSS) como incentivo.
- **Capacitación y certificación:**
 - Programa de 4 semanas (160 horas): 2 semanas teóricas (normativa AFAC, manejo de drones, agricultura de precisión) y 2 prácticas (simulaciones y vuelos supervisados en centros estatales).
 - Certificación AFAC obligatoria para pilotos, incluyendo exámenes teórico-prácticos y seguro de responsabilidad civil.
 - Meta inicial: Capacitar 400 jóvenes (4 por dron × 100 drones).

IX. Plan de adquisición de drones

La adquisición se centrará en el modelo DJI Agras T25P, seleccionado por su capacidad de 25 L para pulverización y esparcimiento, su alta eficiencia operativa (hasta 30 hectáreas por día) y su adaptabilidad a terrenos irregulares característicos de las zonas de temporal. Con base en los precios vigentes en México (julio de 2025), el costo unitario del kit básico asciende a aproximadamente \$287,000 MXN e incluye el dron, batería DB1560, control remoto, cargador inteligente y accesorios iniciales, según distribuidores autorizados por la marca: Distribuidora de Maquinaria Del Sur (DIMASUR), Fabrica de Maquina y Herramientas S.A de C.V (FAMAQ) y Eco Groot S.A de C.V (Dronland).

- **Proceso de adquisición:**
 - Licitación pública federal vía SADER (fase de preparación), priorizando proveedores certificados DJI en México para garantizar soporte local y refacciones (tiempo de respuesta <48 horas).
 - Compra inicial de 100 unidades: Costo total estimado \$28,705,000 MXN, más 3 % por concepto de envío e impuestos (\$29,566,150 MXN).

Incluirá garantía de un año y capacitación inicial proporcionada por el proveedor.

- Distribución: Según Anexo 3 (ej., 21 en Chiapas, 19 en Oaxaca), entregados a centros estatales en meses 4-6.
- Mantenimiento: Contrato anual por \$5,000 MXN/unidad para revisiones periódicas, financiado por PpB.

- **Plan de adquisición de equipo complementario**

Para soportar las operaciones, se adquirirán elementos esenciales para movilidad, seguridad y eficiencia, con un enfoque en durabilidad rural. Presupuesto estimado: \$20-25 millones MXN para el lote inicial.

- **Vehículos y logística:**

- 100 camionetas pickup (ej., Ford Ranger o Toyota Hilux, ~\$600,000 MXN/unidad), una por dron, para traslados entre localidades (capacidad para equipo, dron e insumos). Total: \$60,000,000 MXN, licitadas con proveedores nacionales.
- Remolques o contenedores móviles para almacenamiento seguro de drones en centros estatales.

- **Vestimenta y equipo de seguridad:**

- Por equipo (400 sets iniciales): Trajes protectores impermeables, guantes, máscaras respiratorias, gafas y botas (\$5,000 MXN/set). Total: \$2,000,000 MXN.
- Kits de primeros auxilios y detectores de químicos para mitigar riesgos de exposición.

- **Equipo técnico adicional:**

- Baterías extras (2 por dron, aproximadamente \$20,000 MXN/unidad): Total \$4,000,000 MXN.
 - Tanques de reserva, bombas de recarga, software de mapeo (ej., DJI Agriculture App) y herramientas de mantenimiento (calibradores, kits de reparación): \$10,000 MXN/dron, total \$1,000,000 MXN.
 - Dispositivos GPS y tablets para delimitación de predios y registro de servicios.
- **Proceso:**
 - Licitación conjunta con drones (meses 1-3), con entrega sincronizada. Priorizar proveedores locales en estados prioritarios para reducir costos logísticos.

X. Reglas y cláusulas para el acceso al servicio

El acceso al servicio se regirá por reglas estandarizadas para optimizar la logística colectiva, asegurando que cada dron y su equipo alcancen los 15 productores por las tres jornadas (24 horas totales, como estimado en el Anexo 3). Estas reglas fomentan la coordinación entre productores de la misma cooperativa, priorizando la eficiencia en temporadas de temporal. Una vez establecidos los centros de servicio estatales, los productores cumplirán cláusulas contractuales simples (firmadas en asamblea de cooperativa), que incluyen sanciones leves por incumplimiento para promover responsabilidad compartida. El servicio se cobrará a \$350 MXN por ha atendida (por aplicación), una tarifa simbólica para recuperar inversión gradual, sin excluir a productores vulnerables (subvencionada al 100% inicial si es necesario vía PpB). Con la cobertura del 15% del padrón (297,653 productores), asumiendo un promedio de 5 hectáreas por productor, se generaría un ingreso potencial de \$520,892,750 MXN, lo que podría cubrir el presupuesto inicial del primer año (\$104,066,150 MXN) y reducir la inversión federal para el año siguiente, permitiendo expansión

o refuerzo de equipos para el resto de los estados que fueron excluidos inicialmente llegando así cada vez a más miembros del padrón PpB.

XI. Reglas operativas para solicitar y programar el servicio

Estas reglas aseguran una logística eficiente, agrupando solicitudes de productores cercanos para maximizar la cobertura (ej., rutas optimizadas vía software de mapeo en drones). El proceso se gestiona a través de la app integrada con el padrón PpB, con soporte de extensionistas en centros estatales.

Días de anticipación: Las solicitudes deben presentarse con al menos 7 días de antelación al inicio del ciclo de aplicación (ej., siembra o fumigación), permitiendo al centro estatal agrupar al menos 5-15 productores por jornada.

1. Requisitos de preparación del productor:

- **Contar con el producto:** El productor debe tener listo el insumo agrícola (ej., fertilizantes, agroquímicos) en el sitio, con una cantidad mínima calculada por hectárea (25 l/ha en mezcla, como en parámetros del Anexo 3). Se verificará en la solicitud, y el equipo del dron transportará tanques de reserva si es necesario (costo adicional de \$50 MXN/ha si excede límites).
- **Coordenadas y delimitación:** Proporcionar coordenadas GPS precisas de la parcela (vía Google Maps), con un polígono delimitado de no más de 10 ha. El productor confirmará accesibilidad (ej., caminos despejados) y ausencia de obstáculos (ej., ganado o cables). Esto permite al coordinador logístico trazar rutas colectivas, reduciendo traslados y alcanzando los 15 productores por las tres jornadas.

2. Logística colectiva y priorización:

- Las cooperativas deben coordinar al menos 5 productores por solicitud grupal (de localidades distintas, como requerido en formación), formando "paquetes" geográficos (radio ≤ 10 km) para una jornada eficiente. El centro asignará drones basados en el mapa de calor local, priorizando cultivos de temporal (maíz, frijol) en temporadas de lluvia.

- Límite por productor: Máximo 2 servicios por ciclo (para equidad), con rotación obligatoria en la cooperativa.
- Condiciones climáticas: Servicios suspendidos si hay vientos >15 km/h o lluvia intensa (verificado por app meteorológica), reprogramando según disponibilidad.

Cláusulas contractuales para el acceso al servicio

Cada productor firmará un acuerdo simple (1 página, en formato digital/físico) al integrarse a la cooperativa, renovable anualmente. Estas cláusulas protegen la operación y aseguran cumplimiento normativo (AFAC), con énfasis en seguridad rural.

Cláusula de elegibilidad: El productor debe estar inscrito en PpB con ≤ 10 ha verificadas.

Cláusula de pago y recuperación: Pago de \$350 MXN/ha al finalizar el servicio (vía transferencia o efectivo en centro estatal), facturado por la cooperativa. Fondos se depositarán en una cuenta cooperativa para reinversión (ej., refacciones), reportados trimestralmente a SADER. Con la cobertura proyectada, esta cláusula generaría \$520,892,750 MXN en ingresos, amortizando la inversión inicial y financiando el 100% del segundo año sin carga adicional federal.

Cláusula de seguridad y responsabilidad: El productor garantiza acceso seguro al predio y notifica riesgos. Responsabilidad civil compartida: El gobierno cubre daños a drones/equipo; el productor, por insumos defectuosos.

Cláusula de datos y monitoreo: Autorización para registrar datos de vuelos (coordenadas, volúmenes aplicados) en el padrón PpB, para evaluación. Confidencialidad garantizada por Ley Federal de Protección de Datos.

Cláusula de resolución de disputas: Mediación en el centro estatal o SADER, con apelación a la Procuraduría Agraria. Terminación por mutuo acuerdo o incumplimiento grave (ej., fraude en hectáreas).

XII. Evaluación de la política

La evaluación de esta política pública se diseñará conforme a los lineamientos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), incorporando un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) para medir el impacto en la adopción de drones agrícolas por cooperativas de miembros PpB en los diez estados prioritarios. Se priorizará la medición de resultados en productividad, equidad y sustentabilidad, alineada con los objetivos generales y específicos, sin duplicar datos operativos ya cubiertos en el plan de implementación. El proceso será continuo, con reportes trimestrales al comité interinstitucional (SADER, AFAC), y una evaluación integral al cierre del primer año para decidir la escalabilidad. El presupuesto asignado será del 5% del total (\$4-5 millones MXN), financiado por SADER, utilizando herramientas digitales integradas al padrón PpB para monitoreo en tiempo real.

Indicadores clave de desempeño

Los indicadores se derivan directamente de los objetivos, midiendo eficiencia, efectividad e impacto, con metas cuantificables y umbrales de éxito:

1. Cobertura y adopción (objetivo específico 1):

- Porcentaje de productores ≤ 10 ha en cooperativas que acceden a ≥ 2 servicios por ciclo: Meta inicial 15% (al menos 297,653 productores).
- Número de cooperativas formadas y activas: ≥ 200 en el primer año, con al menos 80% de retención.
- Umbral de éxito: Incremento del 25% en la densidad de servicios por hectárea en zonas prioritarias (medido vía GPS de drones).

2. Capacitación y capacidad humana (objetivo específico 2):

- Número de operadores certificados (JCF): 400 en el piloto inicial.

- Tasa de certificación exitosa: $\geq 90\%$, con seguimiento de retención laboral ($\geq 70\%$ en el sector rural).
- Umbral de éxito: Reducción del 50% en incidentes operativos (ej., fallos técnicos) post-capacitación.

3. Soporte técnico y sostenibilidad (objetivo específico 3):

- Tiempo promedio de respuesta para refacciones/mantenimiento: < 48 horas en 95% de casos.
- Tasa de disponibilidad de drones: $\geq 85\%$ durante campañas de temporal.
- Umbral de éxito: Acuerdos con proveedores renovados en 100% de centros estatales.

4. Impacto general (alineado al objetivo general):

- Aumento en productividad: 20-30% en rendimientos por hectárea en cooperativas (medido por encuestas pre/post y datos de rendimiento de cultivos).
- Beneficios ambientales: Reducción del 40% en uso de agua/insumos (verificado por sensores de drones y reportes de cooperativas).
- Equidad: Participación $\geq 30\%$ de mujeres e indígenas en cooperativas, con mejora en ingresos rurales.

Métodos de recolección y análisis de datos

- **Fuentes primarias:**
 - Registro digital automatizado en app de centros estatales (integrada con padrón PpB y JCF), capturando datos de vuelos, servicios y capacitaciones.
 - Encuestas estructuradas a productores (muestra aleatoria de 10% por cooperativa, vía extensionistas agrícolas) y a jóvenes JCF.

- **Análisis:** Uso de indicadores CONEVAL (eficacia, eficiencia, impacto, sostenibilidad, cobertura). Herramientas cuantitativas: Análisis estadístico (ej., regresión para correlacionar servicios con rendimientos); cualitativas: Análisis temático de entrevistas.
- **Riesgos y mitigación:** Sesgos en auto-reportes se contrarrestarán con verificación cruzada; privacidad de datos cumplirá con la Ley Federal de Protección de Datos Personales.

Cronograma y mecanismos de ajuste

- **Trimestral (meses 3, 6, 9, 12):** Reportes intermedios con dashboards interactivos (ej., vía Tableau o similar), enfocados en avances operativos y correcciones inmediatas (ej., reasignación de drones si <80% disponibilidad).
- **Anual (mes 24):** Evaluación externa por CONEVAL o consultor independiente, incluyendo auditoría financiera y social.

Ajustes: Si se alcanza <70% de metas, se rediseñará (ej., más capacitaciones o redistribución de drones). Criterio de éxito global: ≥80% de objetivos cumplidos para expansión nacional.

XIII. Riesgos

1. Riesgos operativos

1.1. Falla técnica o disponibilidad de drones: Drones como el DJI Agras T100 podrían enfrentar averías frecuentes (ej., baterías o sensores) debido al uso intensivo en terrenos rurales, reduciendo la disponibilidad por debajo del 85% meta.

- **Mitigación:** Contrato de mantenimiento anual con proveedores (respuesta <48 horas), reserva de repuestos (10% del total) y

capacitación continua de auxiliares técnicos. Responsable: SADER.

- **Indicador de control:** Tasa de disponibilidad $\geq 85\%$, verificada mensualmente.

1.2. Logística ineficiente: Dificultades en traslados entre localidades dispersas (ej., Chiapas, Oaxaca) o retrasos en la entrega de insumos podrían limitar la meta de 15 productores por las tres jornadas.

- **Mitigación:** Optimización de rutas vía software de mapeo, premezcla de insumos en centros estatales y coordinación con cooperativas para paquetes geográficos (radio ≤ 10 km). Responsable: Equipos JCF.
- **Indicador de control:** Tiempo promedio de traslado < 1.1 h por productor, según escenarios del Anexo 3.

2. Riesgos sociales y de adopción

2.1. Resistencia cultural o falta de interés: Pequeños productores (≤ 10 ha) podrían rechazar la tecnología por desconocimiento o preferencia por métodos tradicionales, afectando la adopción.

- **Mitigación:** Campañas de sensibilización con extensionistas agrícolas (talleres presenciales/virtuales), demostraciones en campo y testimonios de cooperativas piloto. Responsable: SADER y cooperativas.
- **Indicador de control:** Participación en talleres $\geq 50\%$ de productores por cooperativa.

2.2. Deserción de jóvenes JCF: Rotación alta o falta de motivación en operadores (ej., tras certificación) podría reducir la fuerza laboral capacitada.

- **Mitigación:** Incentivos adicionales (bonos por permanencia de 6 meses, \$2,000 MXN), integración a cooperativas como empleo estable y seguimiento mensual.
- **Indicador de control:** Retención laboral $\geq 70\%$ al año 1.

3. Riesgos normativos y legales

3.1. Cumplimiento irregular de NOM-107-SCT3-2019: Incumplimientos (ej., vuelos sin autorización o cercanía < 30 m a personas) podrían derivar en sanciones de AFAC, suspendiendo operaciones.

- **Mitigación:** Supervisión estricta por centros estatales, multas internas (\$1,000 MXN por incidente) para cooperativas y reportes semanales a AFAC. Responsable: AFAC y SADER.
- **Indicador de control:** Incidencias normativas $< 5\%$ de vuelos totales.

3.2. Conflictos por propiedad o acceso: Autorizaciones insuficientes en zonas rurales (ej., propiedades vecinas) podrían retrasar servicios.

- **Mitigación:** Protocolo de mediación con Procuraduría Agraria, mapeo previo de conflictos y firma de acuerdos grupales en cooperativas. Responsable: SADER.
- **Indicador de control:** Resolución de conflictos en ≤ 72 horas en 90% de casos.

4. Riesgos financieros y de sostenibilidad

4.1. Subutilización de fondos: Si la adopción es menor al 15% (297,653 productores), los \$350 MXN/ha podrían no generar los \$520,892,750 MXN proyectados, afectando la recuperación.

- **Mitigación:** Ajuste dinámico del costo (ej., reducción a \$300/ha si <10% adopción) y reasignación de fondos a capacitación o equipos. Responsable: SADER.
- **Indicador de control:** Recuperación mínima de 50% del presupuesto inicial al año 1.

4.2. Inflación o aumento de costos: Precios de drones/vehículos podrían subir (ej., DJI Agras T25p a >\$400,000 MXN), excediendo el presupuesto de \$104,066,150 MXN.

- **Mitigación:** Licitaciones con cláusulas de ajuste por inflación y reservas del 10% (\$10,406,615 MXN). Responsable: SADER.
- **Indicador de control:** Variación de costos <5% anual.

XIV. Monitoreo y respuesta

- **Frecuencia:** Evaluación trimestral de riesgos (meses 3, 6, 9, 12) con ajustes inmediatos si un indicador cae por debajo del 80% de su meta.
- **Responsables:** Comité interinstitucional con apoyo de consultores externos (ej., CONEVAL) para auditorías de riesgo.
- **Escalabilidad:** Si riesgos se mitigan en $\geq 90\%$ al año 1, se aprueba expansión a otros estados; de lo contrario, se refuerzan medidas en zonas piloto.

XV. Plan de financiamiento

El presupuesto total estimado para el primer año de la fase piloto (meses 1-12) asciende a \$104,066,150 MXN, enfocado en la adquisición inicial y operación básica. Se priorizarán fondos reasignados de PpB (subsidios no utilizados en

tecnologías) y un decreto presupuestal específico de SADER. Para años subsiguientes, se prevé una reducción al 80% de la inicial mediante economías de escala y autofinanciamiento parcial de cooperativas (ej., cuotas mínimas por servicio). El Cuadro 9, desglosa los rubros clave, basados en los gastos identificados en el Plan de implementación, con énfasis en la inversión inicial (100% gubernamental)

Cuadro 9: Desglose del financiamiento abordado

Rubro	Descripción	Cantidad / Volumen	Costo Unitario (MXN)	Subtotal (MXN)	Financiamiento
Adquisición de drones	Modelos DJI Agras T100 (kit básico: dron, baterías, tanque, cargador). Incluye 10% por impuestos y envío.	100 unidades	\$287,050 (más 3% envío)	\$29,566,150.00	100% Gobierno (SADER/PpB)
Mantenimiento de drones	Contrato anual para revisiones y refacciones iniciales.	100 unidades	\$5,000	\$500,000	100% Gobierno (SADER/PpB)
Vehículos y logística	Camionetas pickups para traslados (ej., Ford Ranger/Toyota Hilux).	100 unidades	\$600,000	\$60,000,000	100% Gobierno (SADER/PpB)
Vestimenta y equipo de seguridad	Sets completos (trajes, guantes, máscaras, botas, kits de auxilios).	400 sets (4 por equipo)	\$5,000	\$2,000,000	100% Gobierno (STPS/JCF)
Baterías y equipo técnico adicional	Baterías extras (2 por dron), tanques reserva, software y herramientas de mantenimiento.	200 baterías + kits por dron	\$20,000 (baterías) + \$10,000 (kits)	\$4,000,000 + \$1,000,000 = \$5,000,000	100% Gobierno (SADER/PpB)
Capacitación y certificación	Programa de 160 horas para operadores JCF (incluye exámenes AFAC y materiales).	400 jóvenes	\$1,250 (estimado por persona)	\$500,000	100% Gobierno (STPS/JCF)

Formación de cooperativas	Talleres, registros ante SE y planes de trabajo (incluye apoyo logístico).	200-300 cooperativas	\$3,333 (estimado por cooperativa)	\$1,000,000	100% Gobierno (SADER/PpB)
Otros (administración y contingencias)	Comité interinstitucional, software de monitoreo y reservas para imprevistos.	N/A	N/A	\$5,500,000	100% Gobierno (SADER/PpB)
Total	Inversión inicial y operación primer año.	-	-	\$104,066,150	100% Gobierno Federal

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

En sintonía con la producción de alimentos a nivel mundial, la agricultura mexicana busca elevar la productividad sin ampliar su huella ambiental ni profundizar las brechas tecnológicas. En este sentido, los drones agrícolas se consolidan como una solución estratégica frente a los altos costos de insumos y la escasez de mano de obra, problemáticas claves existentes en México. Su adopción permite optimizar recursos, al reducir el uso de agua y costos operativos, destacando su eficiencia en grandes extensiones agrícolas. Su capacidad para automatizar tareas críticas como la fumigación y el monitoreo, permite incrementar la productividad y facilitar la toma de decisiones informadas, contribuyendo a una agricultura más eficiente y moderna ante los desafíos económicos y ambientales.

El estudio identificó cuatro mecanismos de difusión existentes en el mercado de drones agrícolas en México: de forma directa intervienen los importadores (imp) y distribuidores (Dis), y de forma indirecta los prestadores de servicios con drones (PSD) y venta de insumos agrícolas con dron (VIAD). El análisis transversal mostró que la resistencia cultural ha sido la principal barrera de adopción, acompañada del desconocimiento de los beneficios que tienen los drones de aspersión. La demostración en campo fue la táctica esencial para mitigar la resistencia cultural y aumentar la adopción. Los principales factores que inducen y aceleran el uso de esta tecnología son la escasez de mano de obra, el uso eficiente del agua y la mitigación de la exposición del aplicador.

Un hallazgo central y que sigue la necesidad de una política pública es la constatación de cómo las empresas marginan a los productores que poseen una superficie de cultivo igual o menor a las 10 ha, dándoles prioridad a las escalas mayores a 20 ha. A raíz de ello se concluye que para que los pequeños productores tengan acceso a los drones, el arrendamiento del servicio es más viable que la compra, aunque el esquema que manejan los PSD debe ajustarse para no excluir los predios pequeños. Por ello, se formuló una propuesta de política pública para favorecer a este sector. La focalización se basa en el padrón

del Programa Producción para el Bienestar, que permite identificar con mayor agilidad a los pequeños y medianos productores y así realizar la priorización establecida.

Se reconocen los límites y condiciones para poner en marcha la propuesta, ya que en última instancia son los órganos de gobierno competentes quienes dictaminarán si es viable y está acorde a la disponibilidad de recursos presupuestales.

El camino para mitigar las brechas observadas no pasa necesariamente por vender más equipos, ni condicionar el servicio a superficies mayores a 20 ha. La respuesta está en estructurar un servicio de acceso que llegue a los pequeños productores con capacitaciones y soporte accesible, con reglas claras que protejan el desempeño del servicio al productor. La difusión y adopción de drones en la agricultura mexicana se resolverá por acceso, no por compra desmedida: un modelo de prestación de servicios sin barreras de escala a través de un programa nacional con centros de carácter público, pueden llevar esta tecnología donde hoy está ausente, beneficiando a ese 80% de unidades de producción que cuenta con hasta cinco hectáreas y que están siendo marginadas de los beneficios que permite el uso de esta tecnología.

6. LITERATURA CITADA

- Advexure. (2025, February 13). *Spray Drones vs Traditional Crop Spraying: Which is more effective?* https://advexure.com/blogs/news/spray-drones-vs-traditional-crop-spraying-which-is-more-effective?srsId=AfmBOooMV2-jHpzxc7_ZcVFV9WRdqvInMgTJ1HfOF6FRQTEIk_w2FNGu
- Allain-Dupré, D. (2020). The multi-level governance imperative. *British Journal of Politics and International Relations*, 22(4), 800–808. <https://doi.org/10.1177/1369148120937984>
- Asencio, A. H. (2020). Drones aplicados a la agricultura de precisión. *Cursos de Teledetección, Drones y Lidar-Formación Presencial y Online En Drones, Teledetección y Lidar*.
- Barnes, A. P., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., van der Wal, T., & Gómez-Barbero, M. (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy*, 80, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.004>
- Bienestar. (2025). *Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030*. <https://www.gob.mx/bienestar/documentos/plan-nacional-de-desarrollo-2025-2030-388018>
- Caputti, T., de Oliveira, L. P., Rodrigues, C., Cremonez, P., Foshee, W., Simmons, A. M., & da Silva, A. L. B. R. (2025). Flight Parameters for spray deposition efficiency of unmanned aerial application systems (UAASs). *Drones*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/drones9070461>
- Castellanos, R. Ma., & Morales-Pérez, M. (2016). Análisis crítico sobre la conceptualización de la agricultura de precisión. *Ciencia En Su PC*, 2, 23–33.
- Chacko, J. (2024). Behavioural barriers to technology adoption in agriculture. *Postgraduate seminar report*. <https://www.researchgate.net/publication/385787065>
- Chen, P., Ma, H., Cui, Z., Li, Z., Wu, J., Liao, J., Liu, H., Wang, Y., & Lan, Y. (2025). Field study of UAV variable-rate spraying method for orchards based on canopy volume. *Agriculture (Switzerland)*, 15(1374). <https://doi.org/10.3390/agriculture15131374>
- Chen, Y., Qi, H., Li, G., & Lan, Y. (2019). Weed control effect of unmanned aerial vehicle (UAV) application in wheat field. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 2, 25–31. <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190202.45>
- Chin, R., Catal, C., & Kassahun, A. (2023). Plant disease detection using drones in precision agriculture. *Precision Agriculture*, 24(5), 1663–1682. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10014-y>

- Comisión Nacional del Agua. (2024). *En 2024, Conagua desarrolló proyectos estratégicos para avanzar hacia la sustentabilidad hídrica en el campo*.
- Cottrell, B., Kalacska, M., Arroyo-Mora, J. P., Lucanus, O., Inamdar, D., Løke, T., & Soffer, R. J. (2024). Limitations of a multispectral UAV sensor for satellite validation and mapping complex vegetation. *Remote Sensing*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/rs16132463>
- Domínguez, J. O. C. (2023). *Articulación de la red valor cebada maltera en la zona del altiplano México* [Universidad Autónoma Chapingo]. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/e5d45221-b8d6-4a59-8e48-1ee548df5b24/content>
- Editor_Pxp. (2023). *Campo mexicano produce a bajos niveles debido a la falta de obra y tecnología*. Punto Por Punto. <https://www.puntoporpunto.com/reportajes-2/reportajes-en-punto/campo-mexicano-produce-a-bajos-niveles-debido-a-la-falta-de-mano-de-obra-y-tecnologia/>
- FAO. (2022). The State of food and agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. In *The State of Food and Agriculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9479en>
- Gaadhe, S. K., Chavda, D. B., Mehta, T. D., Chavda S.K., Gojiya, K. M., & Bandhiya, R. D. (2025). A comparative study of drone spraying and convetional spraying for precision agriculture. *Plan Archives*, 25, 771–778. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2025.SP.ICTPAIRS-111>
- Galindo, C. A. (2022). La planeación de la política social en México, 2019-2024. *Carta Económica Regional*, 129, 123–143. <https://doi.org/https://doi.org/10.32870/cer.v0i129.7823>
- Galván Saavedra, E. S., & Olivares Mendoza, J. A. (2014). *Problemas del desarrollo regional en la región sur-sureste de México: política, economía y sociedad* (Primera edición). Universidad de Quintana Roo.
- García-Munguía, A., Guerra-Ávila, P. L., Islas-Ojeda, E., Flores-Sánchez, J. L., Vázquez-Martínez, O., García-Munguía, A. M., & García-Munguía, O. (2024). A review of drone technology and operation processes in agricultural crop spraying. In *Drones* (Vol. 8, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/drones8110674>
- Gianluca, E., Solazzo, G., Lerro, A., Pigni, F., & Tucci, C. L. (2024). The digital transformation canvas: A conceptual framework for leading the digital transformation process. *Business Horizons*, 67(4), 381–398. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2024.03.007>
- Gómez-Candón, D., De Castro, A. I., & López-Granados, F. (2014). Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture*, 15(1), 44–56. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9335-4>

- Guebsi, R., Mami, S., & Chokmani, K. (2024). Drones in precision agriculture: a comprehensive review of applications, technologies, and challenges. *Drones*, 8(686). <https://doi.org/10.3390/drones8110686>
- Guo, J., Li, X., Li, Z., Hu, L., Yang, G., Zhao, C., Fairbairn, D., Watson, D., & Ge, M. (2018). Multi-GNSS precise point positioning for precision agriculture. *Precision Agriculture*, 19(5), 895–911. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9563-8>
- IBM. (2024). ¿Qué es XaaS (cualquier cosa como servicio)? IBM Think. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/xaas>
- Haftor, D. M., Costa-Climent, R., & Ribeiro Navarrete, S. (2023). A pathway to bypassing market entry barriers from data network effects: a case study of a start-up's use of machine learning. *Journal of Business Research*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114244>
- Head, B. (2021). Policy expertise and policy markets: challenges for tackling complex problems in turbulent times. En *The Future of the Policy Sciences* (pp. 121-139).
- Hernández, J. L. P. (2019). Sistema de innovación agrícola como estrategia de competitividad de los productores sonorenses en el contexto del TLCAN. *Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29. <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.828>
- INEGI. (2023). Resultados definitivos del Censo Agropecuario 2022. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022.pdf?utm_source=chatgpt.com
- International Society of Precision Agriculture*. (2020). <https://www.ispag.org/>
- Jenkins-Smith, H. C., Nohrstedt, D., Weible, C. M., & Ingold, K. (2018). The advocacy coalition framework: an overview of the research program. *Theories of the Policy Process*, 135–172. <https://doi.org/10.4324/9780429494284-5>
- Jurado-Expósito, M., de Castro, A. I., Torres-Sánchez, J., Jiménez-Brenes, F. M., & López-Granados, F. (2019). Papaver rhoeas L. mapping with cokriging using UAV imagery. *Precision Agriculture*, 20(5), 1045–1067. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09635-z>
- Kim, J., Kim, S., Ju, C., & Son, H. II. (2019). Unmanned aerial vehicles in agriculture: a review of perspective of platform, control, and applications. *IEEE Access*, 7, 105100–105115. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932119>
- Kuster, C. J., Kohler, M., Hovinga, S., Timmermann, C., Hamacher, G., Buerling, K., Chen, L., Hewitt, N. J., & Anft, T. (2023). Pesticide exposure of operators from drone application: a field study with comparative analysis to handheld data from exposure models. *ACS Agricultural Science and Technology*, 3, 1125–1130. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00253>

- Laudal, T. (2025). Is economies of scale driving everything as a service? *Systems*, 13(356). <https://doi.org/10.3390/systems13050356>
- Lopes, L. de L., Cunha, J. P. A. R. da, & Nomelini, Q. S. S. (2023). Use of unmanned aerial vehicle for pesticide application in soybean crop. *AgriEngineering*, 5, 2049–2063. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040126>
- López-Granados, F., Torres-Sánchez, J., De Castro, A. I., Serrano-Pérez, A., Mesas-Carrascosa, F. J., & Peña, J. M. (2016). Object-based early monitoring of a grass weed in a grass crop using high resolution UAV imagery. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0405-7>
- Mazcorro, B. (2022). *El potencial de los drones en la agricultura*. CIMMYT. <https://idp.cimmyt.org/el-potencial-de-los-drones-en-la-agricultura/#:~:text=En el sector agrícola los,en áreas de difícil acceso>.
- Michels, M., von Hobe, C. F., & Musshoff, O. (2020). A trans-theoretical model for the adoption of drones by large-scale German farmers. *Journal of Rural Studies*, 75, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.01.005>
- Mwamba, K. (2024). Barriers to market entry and strategies for success: a study on small and medium enterprises (Smes) in Ghana and Tanzania. *Easr African Journal of Business and Economics*, 3 (1), 225–236. <https://doi.org/10.37284/eajbe.8.1.2787>
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Nowak, B. (2021). Precision agriculture: where do we stand? a review of the adoption of precision agriculture technologies on field crops farms in developed countries. *Agricultural Research*, 10(4), 515–522. <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00539-x>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pace, D. S. (2021). PROBABILITY AND NON-PROBABILITY SAMPLING - AN ENTRY POINT FOR UNDERGRADUATE RESEARCHERS. *International Journal of Quantitative and Qualitative Research Methods*, 9(2056–3620), 1–15.
- Pandeya, S., Gyawali, B. R., & Upadhaya, S. (2025). Factors influencing precision agriculture technology adoption among small-scale farmers in Kentucky and their implications for policy and practice. *Agriculture (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/agriculture15020177>

- Pedrozo Acuña, A. (2022). Escasez de agua, disponibilidad y agricultura. *Perspectivas IMTA*, 22. <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2022-22>
- Ponce, A. L. A. (2018). El estudio de caso múltiple. Una estrategia de investigación en el ámbito de la administración. *Publicando*, 15(5), 21–34.
- Puppala, H., Peddinti, P. R. T., Tamvada, J. P., Ahuja, J., & Kim, B. (2023). Barriers to the adoption of new technologies in rural areas: the case of unmanned aerial vehicles for precision agriculture in India. *Technology in Society*, 74, 102335. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102335>
- Quan, X., Guo, Q., Ma, J., & Doluschitz, R. (2023). The economic effects of unmanned aerial vehicles in pesticide application: evidence from chinese grain farmers. *Precision Agriculture*, 24, 1965–1981. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10025-9>
- Ramteke, S. V., Varadwaj, P. K., & Tiwari, V. (2025). Optimizing UAV spraying for sustainable agriculture: a life cycle and efficiency analysis in India. *Sustainability (Switzerland)*, 17(6211). <https://doi.org/10.3390/su17136211>
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: a review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>
- Ríos Hernández, R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1), 67–74.
- Ríos-Hernández, R. (2021). Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11, 75–84.
- Ruzzante, S., Labarta, R., & Bilton, A. (2021). Adoption of agricultural technology in the developing world: a meta-analysis of the empirical literature. *World Development*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105599>
- Sánchez Aguirre, J. O. (2025). *Estrategia de innovación para la red de distribución de drones para la agricultura en México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/a2837cba-f5ec-4036-ba58-332d48371524/content>
- Sánchez-Fernández, L., Díaz-García, F., Pérez-Ruiz, M., Sandin-España, P., Alonso-Prados, J. L., Mateo-Miranda, M., Martínez-Guanter, J., García-Montero, E., Márquez, M. del C., & Abril-Muñoz, I. (2025). Dermal exposure of operators, bystanders and residents derived from Unmanned Aerial Spraying Systems (UASS) in Vineyard. *Drones*, 9. <https://doi.org/10.3390/drones9050345>

- Schöllhammer, O., Schroth, J., Schmitt, J., Blose, F., Heidelberg, J., & Baer, R. von. (2023). Pricing von XaaS-Angeboten im maschinenbau – faktoren der preisbestimmung bei Everything-as-a-Service-Geschäftsmodellen. *WT Werkstattstechnik*, 113(07–08). <https://doi.org/doi.org/10.37544/1436–4980–2023–07–08–2710.37544/1436-4980-2023-07-08-27-am17.10.2025,18:25:11.https://elibrary.vdi-verlag.de/de/agb-OpenAccess->
- Secretaría de las mujeres del Estado de México. (2023). *Guía para elaborar políticas públicas con perspectiva de género*.
- Secretaría General de la cámara de Diputados. (2022). *Las Políticas Públicas en el poder legislativo*. <https://portalhcd.diputados.gob.mx/PortalWeb/PortalCiudadano/e40221d2-5cb3-430e-9586-8fa37dd1c178.pdf>
- Shokouhyar, S., Shokoohyar, S., & Safari, S. (2020). Research on the influence of after-sales service quality factors on customer satisfaction. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102139>
- Sridhar, A., Ponnuchaamy, M., Kumar, P. S., Kapoor, A., Nguyen Vo, D.-V., & Rangasamy, G. (2023). Digitalization of the agro-food sector for achieving sustainable development goals : a review. *Sustainable Food Technology*, 1–20. <https://doi.org/10.1039/D3FB00124E>
- Systemiq. (2021). *Everything-as-a-Service XaaS: how businesses can thrive in the age of climate change and digitalization*.
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information (Itzerland)Sw*, 10(11), 1–26. <https://doi.org/10.3390/info10110349>
- Valle-Cruz, D., Criado, J. I., Sandoval-Almazán, R., & Ruvalcaba-Gomez, E. A. (2020). Assessing the public policy-cycle framework in the age of artificial intelligence: From agenda-setting to policy evaluation. *Government Information Quarterly*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101509>
- Velusamy, P., Rajendra, S., Mahendran, R. K., Naseer, S., Shafiq, M., & Choi, J.-G. (2022). Unmanned aerial vehicles (UAV) in precision agriculture: applications and callenges. *Energies*, 15, 217. <https://doi.org/doi.org/10.3390/en15010217>
- Wachenheim, C., Fan, L., & Zheng, S. (2021). Adoption of unmanned aerial vehicles for pesticide application: role of social network, resource endowment, and perceptions. *Technology in Society*, 64, 101470. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101470>
- Wang, G., Lan, Y., Yuan, H., Qi, H., Chen, P., Ouyang, F., & Han, Y. (2019). Comparison of spray deposition, control efficacy on wheat aphids and

- working efficiency in the wheat field of the unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsack sprayers. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(2), 218. <https://doi.org/10.3390/app9020218>
- Wang, X., Jiang, R., Zhou, Z., Huang, J., & Lin, J. (2023). Impact of airflow rectification on spreading uniformity for UAV-based multichannel pneumatic granular fertilizer spreader. *Agronomy*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy13102661>
- Yan, X., Zhou, Y., Liu, X., Yang, D., & Yuan, H. (2021). Minimizing occupational exposure to pesticide and increasing control efficacy of pests by unmanned aerial vehicle application on cowpea. *Applied Sciences*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/app11209579>
- Yao, H., Qin, R., & Chen, X. (2019). Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications - A review. *Remote Sensing*, 11(12), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs11121443>
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: design and methods (Sixth edition). SAGE Publications, Inc.
- Yue, M., Li, W. jing, Jin, S., Chen, J., Chang, Q., Glyn, J., Cao, Y. ying, Yang, G. jun, Li, Z. hong, & Frewer, L. J. (2023). Farmers' precision pesticide technology adoption and its influencing factors: evidence from apple production areas in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(1), 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.11.002>
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13, 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
- Zhang, L., Zhang, R., Yi, T., Zhang, D., Ding, C., Wu, M., & Noguchi, R. (2024). Optimization design and experimental study of solid particle spreader for unmanned aerial vehicle. *Drones*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/drones8120726>

7. ANEXOS

7.1. Anexo 1. Instrumento de colecta de entrevistas semiestructuradas a vendedores de drones agrícolas



Universidad Autónoma Chapingo



Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas

de la Agroindustria y la Agricultura Mundial

Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial

Los datos recolectados de esta entrevista son confidenciales y de uso exclusivo para la investigación.

Objetivo: Conocer el modelo de negocio que implementan las empresas para ofertar servicio con drones en actividades agrícolas.

I. Identificación de la empresa.

1. Nombre de la empresa	
2. Fecha de fundación	
3. Ubicación	

II. Identificación de la persona responsable de responder la entrevista

1. Nombre completo		4. Edad	
2. Estado donde vive		5. Cargo:	
3. Género	F () M ()	6. Correo electrónico	
7. Escolaridad			

III. Historia y objetivos de la empresa

1. ¿Podría hablarme de la historia de la empresa y su experiencia con la agricultura de precisión?
2. ¿Cuál es la misión y visión de la empresa?
3. ¿Cuál es el objetivo principal de la empresa?
4. ¿Bajo qué valores se rige la empresa?

IV. Conocimientos técnicos

5. ¿Qué conocimientos tiene sobre los diferentes tipos de drones agrícolas disponibles en el mercado?
6. ¿Cómo obtiene el dron que comercializa (quién es su proveedor)?
7. ¿Cómo se mantiene al día con las tendencias y avances tecnológicos en drones agrícolas?
8. ¿Usa aplicaciones de la red o paga un servicio para dar soluciones al campo y cuáles son las que más utiliza?

V. Estrategias de ventas y servicio al cliente

9. ¿Quiénes son sus principales clientes?
10. ¿Qué estrategias utiliza para cerrar ventas y lograr que los clientes se sientan satisfechos con la compra?
11. ¿Cuál es la forma de pago que maneja, tiene esquemas de crédito o el pago debe ser en una sola exhibición?
12. ¿Realiza algún tipo de seguimiento después de la venta del dron (mantenimiento, reparaciones, refacciones, capacitaciones)?
13. ¿Cuáles son los problemas que ha encontrado al momento de vender los drones?
14. ¿Cómo maneja las objeciones que puede presentar el cliente, ejemplo preocupaciones sobre el costo, el manejo y la seguridad que implica el dron agrícola?
15. Para usted, ¿Qué papel cree que juega el servicio al cliente en la industria de ventas de drones agrícolas?
16. En su experiencia ¿Cuáles considera que son los factores o razones que impulsan a los productores a la compra de esta tecnología?
17. ¿Puede compartir alguna experiencia en la que haya superado las expectativas del cliente durante una venta de drones agrícolas?
18. ¿Qué retos a tenido que superar para vender sus drones?
19. ¿Qué otros servicios ofrecen a parte de la venta de drones agrícolas?

VI. Colaboración

20. ¿Tiene colaboración con algún gobierno para apoyar a los productores?
21. ¿Ha colaborado alguna vez con investigadores agrícolas o instituciones académicas para mejorar sus servicios o explorar nuevas estrategias de venta?

7.2. Anexo 2. Instrumento de colecta de entrevistas semiestructuradas a prestadores de servicios con drones agrícolas



Universidad Autónoma Chapingo



Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas

de la Agroindustria y la Agricultura Mundial

Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial

Los datos recolectados de esta entrevista son confidenciales y de uso exclusivo para la investigación.

Objetivo: Conocer el modelo de negocio que implementan las empresas para ofertar servicio con drones en actividades agrícolas.

I. Identificación de la empresa.

1. Nombre de la empresa	
2. Fecha de fundación	
3. Ubicación	

II. Identificación de la persona responsable de responder la entrevista

1. Nombre completo:		4. Edad:	
2. Estado donde vive:		5. Cargo:	
3. Género:	F () M ()	6. Correo electrónico	
7. Escolaridad:			

III. Introducción y contexto de la empresa

22. ¿Podría hablarme de la historia de su empresa?
23. ¿Cuál es la misión y visión de la empresa?
24. ¿Cuál es el objetivo principal de la empresa?
25. ¿Bajo qué valores se rige la empresa?

26. ¿Por qué se tomó la decisión de incursionar en el giro de los drones agrícolas?

IV. Conocimiento y uso de drones agrícolas

27. ¿Qué conocimientos tiene sobre los diferentes tipos de drones agrícolas disponibles en el mercado?

28. ¿Cómo se mantiene al día con las tendencias y avances tecnológicos en drones agrícolas?

29. ¿Cuál es la experiencia con el uso de drones para pulverización y mapeo?

30. ¿Qué tipo de servicios específicos ofrece utilizando drones agrícolas?

31. ¿Qué tipo de dron agrícola está empleando? ¿por qué eligió este dron agrícola?

32. ¿Cuántas personas (técnicos) necesita para realizar el (los) servicio (os) qué oferta con el dron agrícola?

33. ¿Quién le vende los drones?

34. ¿Recibe capacitación contante en el uso de drones?

35. En caso de requerir mantenimiento o reparación un dron ¿con quién acude?

V. Servicios ofrecidos y procedimientos

36. ¿Qué tipo de servicios específicos ofrece utilizando drones agrícolas?

37. ¿En qué estados y/o municipios han implementado el servicio de drones?

38. ¿Cuáles son los cultivos que comúnmente requieren servicios de drones?

39. ¿Ofrece servicios de asesoramiento o consultoría basados en los datos recopilados mediante el mapeo con drones? En caso afirmativo, ¿cómo funciona este proceso?

40. ¿Ofrece algún tipo de seguimiento o servicio una vez completada la tarea de pulverización o mapeo?

VI. Operaciones y seguridad

41. ¿Cómo garantiza la seguridad tanto para sus operadores como para el medio ambiente durante las operaciones de pulverización?

42. ¿Cómo gestionan la logística de la recolección de datos mediante drones agrícolas, especialmente en áreas grandes o de difícil acceso (con pendientes pronunciadas)?

43. ¿Qué tipo de capacitación necesitan los operadores de los drones agrícolas?

44. ¿Los pilotos tienen alguna certificación?

45. ¿En qué o en quién se basan para decidir qué productos aplicar?

46. ¿La preparación de los productos aplicar quién los realiza? Podría explicarme la logística de esta parte.

VII. Gestión de datos y análisis

47. ¿Qué información recopila con el dron agrícola?

48. ¿El análisis de los datos recabados los realiza con un software qué es manejado por los técnicos de aplicación o requiere una persona especializada diferente?
49. ¿Cuál es el uso específico que se les da a los datos recopilados?
50. ¿Usa aplicaciones de la red o paga un servicio para dar soluciones al campo y cuáles son las que más utiliza?

VIII. Clientes y casos de éxito

51. ¿Qué tipo de clientes contratan sus servicios?
52. ¿Podría compartir algunos ejemplos de casos de éxito o testimonios de clientes que hayan utilizado sus servicios de mapeo y/o pulverización con drones agrícolas?

IX. Competitividad y futuro

53. ¿Cuáles considera que son las ventajas competitivas de su empresa en comparación con otras en la industria de servicios con drones agrícolas?
54. ¿Cuáles son las dificultades que ha percibido en este sector?
55. ¿Tiene algún plan de expansión o desarrollo futuro para sus servicios con drones?
56. ¿Cómo calcula los costos de sus servicios? ¿Hay algún factor variable que afecte el precio final?
57. ¿Su empresa está sujeta a algún tipo especial de impuesto en relación con el uso de drones agrícolas, o cuenta con alguna exención fiscal aplicable a estos servicios?

X. Colaboraciones

58. ¿Ha colaborado alguna vez con investigadores agrícolas o instituciones académicas para mejorar sus servicios o explorar nuevas aplicaciones?

7.3. Anexo 3. Estimaciones técnicas de implementación

Parámetros operativos y productividad

El diseño de la fase piloto se basa en estimaciones técnicas para maximizar la cobertura de productores con menos de 10 hectáreas inscritos en Producción para el Bienestar (PpB), considerando un total de 1,984,351 miembros y un objetivo de atender al menos el 15% (297,653 productores) durante temporadas de siembra de temporal (maíz y frijol). Los parámetros operativos por dron son los siguientes:

- **Jornada total:** 8 horas por día, incluyendo traslados, preparación, vuelos y cierres, extendido a tres jornadas en 24 horas.
- **Equipo humano:** 4 personas.
- **Parámetros de aspersión:**
 - Dosis: 25 L/ha (calibración típica para cultivos de hoja y frutales).
 - Cobertura por tanque: 25 L = 1 ha por recarga.
 - Rendimiento en vuelo: amplitud ≈ 8 m, velocidad ≈ 6 m/s $\rightarrow 0.288$ ha/min; con giros y solapes ≈ 0.22 – 0.25 ha/min (13–16 min para 4 ha).
 - Ciclo por tanque (en sitio): 18 min vuelo + 7 min recarga/mezcla + 3 min cambio de batería = 28 min $\Rightarrow \approx 8.6$ ha/h “en sitio” (sin traslados).

Gastos de tiempo indirectos por productor (overhead): traslado local, control de lista de verificación, delimitación, cierre.

- Conservador: 1.1 h
- Base: 0.9 h
- Óptimo (rutas pegadas, premezcla en bidones): 0.7 h

- **Fórmula de tiempo por productor:** $\text{Tiempo} = H + A/E$, donde:
 - E = capacidad efectiva (ha/h)
 - H = overhead fijo (h)
 - A = área atendida (ha)

Resultados por escenario (jornada de 8 h, superficies típicas de 3, 5 y 10 ha):

Cuadro 10: Supuesto de operación por escenarios

Escenario	Supuestos (E, H)	3 ha	5 ha	10 ha
Conservador	E=7 ha/h, H=1.1 h	5 prod. (15 ha/día)	4 prod. (20 ha/día)	3 prod. (30 ha/día)
Base	E=9 ha/h, H=0.9 h	7 prod. (21 ha/día)	6 prod. (30 ha/día)	4 prod. (40 ha/día)
Óptimo	E=12 ha/h, H=0.7 h	9 prod. (27 ha/día)	8 prod. (40 ha/día)	5 prod. (50 ha/día)

Fuente: Elaboración propia con bases operación con drones

Promedio y escala:

- Promedio de productores por dron por día: ≈ 5 productores (considerando escenarios conservadores, base y óptimo).
- Con tres jornadas en 24 horas: 15 productores/dron/día.
- Con 100 drones: $15 \times 100 = 1,500$ productores atendidos por día.
- Cobertura anual estimada (considerando 214 días de campaña que corresponden a la ventana de temporal en cultivos como maíz y frijol desde 1 de marzo hasta 30 de septiembre): $1,500 \times 214 = 321,000$ productores por ciclo, representando un poco más del 15% (297,653) en un año, ajustable según demanda estacional dejando el restante como margen y así asegurar el 15% cubierto.

Distribución de los 100 drones

La asignación de los 100 drones se basa en la densidad de productores PpB en los diez estados que concentran el 75% del padrón (Figura 7.3.1) (1,476,581 de 1,984,351), utilizando una métrica aproximada de 1 dron por cada 14,765 miembros ($1,476,581 \div 100$).

La distribución inicial es:

Entidad	Productores	Drones
Chiapas	305,076	21
Oaxaca	280,370	19
Veracruz	189,568	13
Guerrero	154,866	10
Puebla	143,631	10
Estado de México	103,654	7
Michoacán	87,596	6
Hidalgo	79,017	5
Jalisco	70,801	5
Guanajuato	61,002	4
Total	1,476,581	100

Fuente: Elaboración propia con datos del PpB (2025).

La distribución se redondea al entero más cercano, sumando exactamente 100 drones. Esta priorización asegura que los estados con mayor densidad (ej., Chiapas, Oaxaca) reciban más equipos, reflejando la magnitud de su padrón.

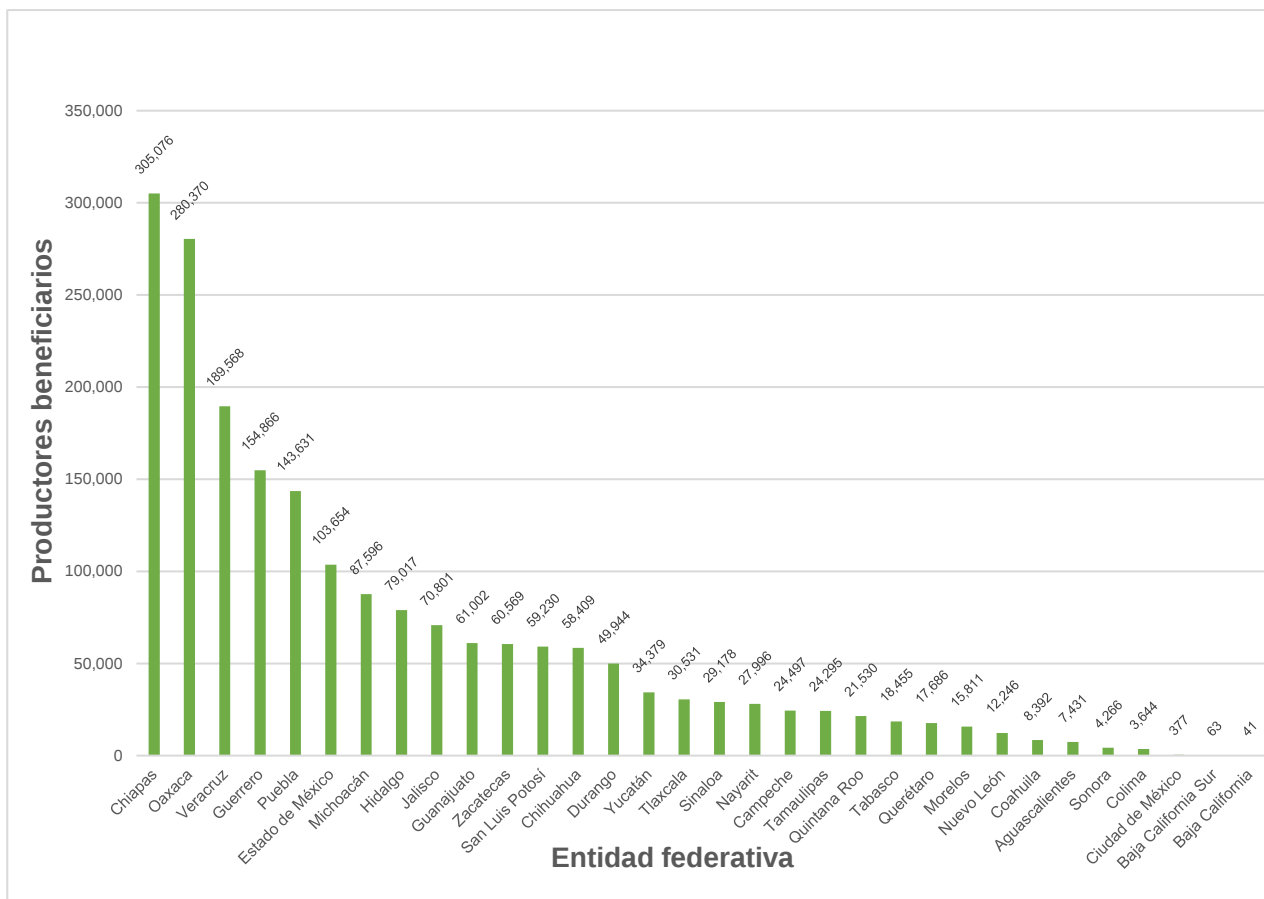


Figura 14: Beneficiario de PpB por entidad federativa

Fuente: PpB (2025)