



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

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

**MODELOS DE NEGOCIO DE EMPRESAS DE DRONES EN LA
AGRICULTURA EN MÉXICO**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Estrategia Agroempresarial

Presenta:

MAYTE ARELY LÓPEZ SANTÍN

Bajo la supervisión de:

DIRECTOR: DR. JORGE AGUILAR ÁVILA

CO-DIRECTOR: DR. JUAN MANUEL AGUIRRE LÓPEZ



APROBADA



Chapingo, Edo. de México, a septiembre de 2024

MODELOS DE NEGOCIO DE EMPRESAS DE DRONES EN LA AGRICULTURA EN MÉXICO

Tesis realizada por **Mayte Arely López Santín** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

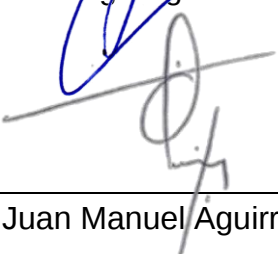
MAESTRO EN CIENCIAS EN ESTRATEGIA AGROEMPRESARIAL

DIRECTOR



Dr. Jorge Aguilar Ávila

CO-DIRECTOR



Dr. Juan Manuel Aguirre López

ASESOR



Dr. Enrique Genaro Martínez González

ASESOR



Dra. Leticia Myriam Sagarnaga Villegas

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	1
GENERAL ABSTRACT	2
1.INTRODUCCIÓN	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Justificación	5
1.3 Planteamiento del problema	5
1.4 Objetivos de la investigación	8
1.4.1Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
1.5 Preguntas de investigación.....	9
1.6 Hipótesis.....	10
1.7 Estructura de la tesis	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Modelos de Negocio	13
2.2 Estructura de la Red de valor	21
2.3 Adopción tecnológica.....	24
2.4 Agricultura 4.0	25
2.4.1 Agricultura 4.0 desde la perspectiva social	28
2.5 Agricultura 5.0	29
2.6 Drones (Vehículos aéreos no tripulados).....	30
2.6.1 Evolución de los drones	32
2.6.2 Drones en la agricultura	33
2.6.3 Aplicación de big data en los drones	36
3. MARCO REFERENCIAL.....	37

3.1 Principales empresas y marcas de drones	39
3.2 Regulaciones de los drones	41
3.3 Drones en el sector agrícola en México.....	42
3.4 Crecimiento de la digitalización agrícola en México	44
4. METODOLOGÍA	47
4.1 Población sujeta de estudio.....	47
4.1.2 Definición de espacio geográfico y temporal de la investigación.....	47
4.1.3 Fuentes de información	48
4.2 Metodología para el análisis bibliométrico, usos y perspectivas de los drones en la agricultura	49
4.2.1 Métodos e instrumentos de colecta	49
4.2.2 Métodos de análisis.....	50
4.3 Metodología para las redes de valor de los modelos de negocio de las empresas de drones.....	53
4.3.1 Métodos e instrumentos de colecta	53
4.3.2 Métodos de análisis.....	54
4.4 Metodología para el análisis del modelo CANVAS para empresas de drones Agrícolas.....	55
4.4.1 Métodos e instrumentos de colecta	55
4.4.2 Métodos de análisis.....	56
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
5.1 Análisis bibliométrico, usos, aplicaciones y perspectivas de los drones en la Agricultura.....	57
5.1.1 Análisis bibliométrico	57
5.1.2 Usos y aplicaciones de los drones en la Agricultura.....	61
5.1.3 Comparativo del uso de drones con otras tecnologías de aspersión	64
5.1.4 Costos de drones agrícolas.....	71

5.1.5 Perspectiva de los drones en la Agricultura (medición en Escala Likert)	72
5.1.6 Futuro de los drones en la agricultura	79
5.2 Redes de valor los modelos de negocio de las empresas de drones	81
5.2.1 Distribuidor de drones DJI	83
5.2.2 Se tiene un dron o flota de drones y maquila el servicio de fumigación	85
5.2.3 Vinculación de dos redes de valor	88
5.2.4 Distribuidor complementando con el servicio de mantenimiento y reparación.	90
5.2.5 Integral (distribuidor, venta, capacitación, reparación y maquila)	91
5.3 Modelo CANVAS para empresas de Drones Agrícolas	94
5.3.1 Modelos de Negocio Emergentes de empresas de drones en la agricultura	101
5.3.2 Casos de éxito de empresas de drones en la agricultura	102
5.3.3 Retos que enfrentan las empresas de drones en la agricultura	104
5.4 Estrategias Modelos de Negocio	106
6. CONCLUSIONES	111
7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	113
8. LITERATURA CITADA	114
9. APÉNDICES	122
9.1 Apéndice 1. Matriz de Congruencia	122
9.2 Apéndice 2. Instrumento de colecta de datos	123
9.3 Apéndice 3. Cédula de empresa dedicadas a la venta y servicio de drones en la Agricultura	125
9.4 Apéndice 4. Instrumento de colecta escala tipo Likert	127

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Teorías sobre modelos de negocio	15
Cuadro 2. Comparación de Tipos de drones por su forma	32
Cuadro 3. Usos y beneficios de los drones en la agricultura	34
Cuadro 4. Aplicación de los drones en cultivos específicos.....	35
Cuadro 5. Empresas líderes de drones en el mercado estadounidense.....	40
Cuadro 6. Promedio Nacional de uso de las tecnologías informáticas y de comunicación en el sector agrícola.....	44
Cuadro 7. Fuentes de información.....	49
Cuadro 8. Preguntas para conformar la red de valor de las empresas de drones	55
Cuadro 9. Usos de los drones en Agricultura en México	61
Cuadro 10. Cuadro comparativo del uso de drones con otras tecnologías de aspersión	65
Cuadro 11. Ventajas de los drones respecto a otras formas de aspersión.....	67
Cuadro 12. Características de las tecnologías agrícolas	67
Cuadro 13. Costo de operación y consumo	68
Cuadro 14. Costo de operación y consumo con dron	70
Cuadro 15. Costos sobre uso de dron agrícola	72
Cuadro 16. Correlaciones de la categoría modelos de negocio.....	76

Cuadro 17. Modelos de Negocio de empresas de drones en México	82
Cuadro 18. Ventaja relativa de cada uno de los modelos de negocio	93
Cuadro 19. Semaforización de los modelos de negocio con la adopción de los nueve rubros del modelo CANVAS.....	100
Cuadro 20. Desarrollo del modelo de negocio por región	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la tesis	12
Figura 2. Componentes de un modelo de negocio	14
Figura 3. Estructura de la Red de valor	21
Figura 4. Diamante de Porter.....	23
Figura 5. Componentes de la Agricultura 4.0 y transición hacia la Agricultura 5.0	27
Figura 6. Evolución de los drones.....	32
Figura 8. Segmentación del mercado de drones (2022)	38
Figura 7. Tecnologías con enfoque sostenible.....	38
Figura 9. Resumen de actividades realizadas por los operadores de drones...	39
Figura 10. Marcas que comercializan drones en el sector agrícola	40
Figura 11. Regulaciones de los drones en el mundo	42
Figura 12. Segmentación de mercado según función.....	42
Figura 13. Promedio Nacional del uso de las TIC en el sector agrícola en México.	45
Figura 14. Unidades de producción con uso de teléfono celular en las actividades agropecuarias en México.	46
Figura 15. Estados donde se realizó la colecta de datos.....	48
Figura 16. Empresas entrevistadas en la fase de campo	54
Figura 17. Documentos publicados por año con relación a los drones en la Agricultura.....	58

Figura 18. Principales autores con publicaciones usando como palabras clave "drone" y "agriculture"	59
Figura 19. Palabras clave más utilizadas en artículos científicos	60
Figura 20. Modelo de Negocio simplificado que sigue DJI	63
Figura 21. Evolución de los drones agrícolas DJI	64
Figura 22. Género de las personas encuestadas	73
Figura 23. Escolaridad	74
Figura 24. Ocupación de las personas encuestadas	74
Figura 25. Perspectiva de los drones en la agricultura cuantificado mediante una escala tipo Likert	75
Figura 26. Índice de Modelos de Negocio de Drones Agrícolas N=51	76
Figura 27. Gráfica de frecuencias del IMNDA	77
Figura 28. Gráfica de frecuencias del IATD	79
Figura 29. Nube de palabras donde se describe el futuro de los drones en la Agricultura	80
Figura 30. Nube de palabras donde se describe las cosas negativas de los drones en la Agricultura	81
Figura 31. Red de valor de distribuidores de drones DJI	84
Figura 32. Red de valor de maquilar el servicio con drones	86
Figura 33. Diagrama de flujo del servicio de arrendamiento de drones agrícolas	87
Figura 34. Red de valor de drones DJI y maquila	89

Figura 35. Red de valor venta de drones más mantenimiento.....	91
Figura 36. Red de valor del modelo de negocio integral.....	92
Figura 37. Mercado de drones por zonas.	95
Figura 38. Modelo de negocios de empresas que son distribuidores de drones DJI comparado con el modelo de maquila de fumigación con drones	96
Figura 39. Modelo de negocios de empresas de drones Integral con el modelo de mantenimiento y reparación de drones.....	97
Figura 40. Modelo CANVAS drones en la Agricultura en México	99
Figura 41. Retos de las empresas de drones en el sector agrícola	105
Figura 42. Esquema de las cuatro acciones (Matriz ERIC) para modelos de negocio de empresas de drones en la Agricultura.	109

DEDICATORIA

A mi padre, el **C.P. Renato López Marino**, quien siempre ha sido mi mayor inspiración para desarrollar temas de investigación innovadores, gracias por todo el apoyo que me has brindado a lo largo de estos años.

A mi madre, **Claudia Areli Santin García**, porque gracias a sus consejos siempre he sido resiliente con los obstáculos que se me han presentado, impulsándome a seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mi hermano, el **Ing. Francisco Zuriel López Santín**, el mejor compañero de vida que me brinda comprensión y motivación para seguir creciendo en todos los aspectos de mi vida, cada día soy mejor gracias a ti.

A mis mejores amigos, los **Ing. Francisco Javier Solís García** e **Ing. Marco Julio Hernández Caballero**, por siempre proporcionarme aliento cuando las cosas parecían difíciles y brindarme su amistad cuando más lo necesitaba.

Con mucho cariño, Mayte Arely López Santín.

AGRADECIMIENTOS

A mi querida alma mater, la Universidad Autónoma Chapingo, que ha sido el cimiento de mi formación desde preparatoria. Es un máximo orgullo pertenecer a tan prestigiosa casa de estudios.

Al Centro de Investigación Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM) por brindarme la oportunidad de cultivar mis conocimientos y aprender nuevas herramientas que contribuyeron tanto mi desarrollo académico como profesional.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo financiero otorgado, lo que contribuyó a que el desarrollo de esta investigación se diera de manera exitosa.

Al Dr. Jorge Aguilar Ávila por su orientación, paciencia, tiempo y apoyo, siempre estuvo al pendiente en el desarrollo de la investigación, compartiendo los mejores materiales, me encuentro muy agradecida por recibir sus conocimientos en pro del desarrollo científico.

Al Dr. Juan Manuel Aguirre López, especialista en drones, quien me brindo su basta experticia en el tema de drones agrícolas, así como su dirección en los temas de desarrollo tecnológico en la Agricultura -AgTech´s-.

A mis asesores, el Dr. Enrique G. Martínez González y la Dra. Leticia Myriam Sagarnaga Villegas quienes me brindaron todo el apoyo para entregar un documento de calidad.

A los maestros del CIESTAAM que me proporcionaron las herramientas para el desarrollo de mi tesis, siempre impartiendo temas de vanguardia e, interés a la sociedad.

DATOS BIOGRÁFICOS

Mayte Arely López Santín nació el 1 de enero de 1996 en Texcoco, Estado de México. En 2011, cursó sus estudios de bachillerato en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo y, posteriormente del 2014-2018 la carrera de Ingeniería Mecánica Agrícola en la misma institución. En 2018 realizó su estancia preprofesional de investigación en la Universidad de Almería, España, teniendo el cargo de seguimiento y control de la automatización de un invernadero de jitomate.



En 2018 incursionó en el ámbito laboral, desempeñando el puesto de Dealer estándar y garantías en Querétaro, en donde se encargaba de ser la intermediaria entre el distribuidor y la planta CNH (CASE NEW HOLLAND).

Durante el año 2020, efectuó un voluntariado en Centro Unido Latino-Americano, Marion, Carolina del Norte, USA y así mismo cursó el Diplomado en Desarrollo de Agronegocios 2020 impartido por FIRA, Fundación Chapingo y el CIESTAAM. En el año 2021, se capacitó en el uso de herramientas para la consulta de información estadística y geográfica, impartido por INEGI.

En el periodo de 2022-2024 fue estudiante de la Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial en el CIESTAAM, de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). En el año 2024 fue ponente en el XII Congreso Internacional y XXVI Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas (CINCA) en la mesa de Economía y Desarrollo Rural.

RESUMEN GENERAL

MODELOS DE NEGOCIO DE EMPRESAS DE DRONES EN LA AGRICULTURA EN MÉXICO¹

El uso de tecnologías concernientes a la Agricultura 4.0 y 5.0 está en aumento. Dentro de este contexto, surgen empresas dedicadas tanto a la venta como a la renta de vehículos aéreos no tripulados, conocidos como drones, para aplicaciones agrícolas. El objetivo de esta investigación es tipificar los modelos de negocio de las empresas que se dedican a la venta y renta de drones para usos agrícolas, mediante la caracterización de sus redes de valor, con el fin de contribuir a la creación de una estrategia de promoción de la tecnología dron en la agricultura mexicana. Se aplicaron 10 entrevistas semiestructuradas y 51 encuestas a empresarios, pilotos y académicos vinculados con esta tecnología. Las variables analizadas permitieron identificar las relaciones de los actores de la red de valor de las empresas. Los resultados arrojan que existen cuatro tipos de redes de valor, que se corresponden con el mismo número de modelos de negocio: i) distribuidores de drones; ii) empresas arrendadoras de drones; iii) negocios que reparan y dan mantenimiento a los drones; y iv) el modelo de negocio integral, que abarca la fumigación, capacitación, mantenimiento, reparación e interpretación de datos. En la caracterización de los modelos de negocio, se identificó que existe una fuerte vinculación entre actores para la distribución y comercialización de los drones, siendo un mercado emergente y de alta especialidad tecnológica. Los resultados de esta investigación permiten afirmar que el futuro de las empresas de drones en la agricultura mexicana es prometedor. Así mismo, se enumeran acciones para que los agricultores pequeños y medianos puedan reducir las barreras que tienen en cuanto a la accesibilidad para el uso de esta tecnología, siendo el arrendamiento un mecanismo que permite acceder a su uso sin una alta inversión. La toma de decisiones basada en datos colectados por drones ofrece la posibilidad de identificar acciones para obtener mayores rendimientos y menores costos operativos en la agricultura.

Palabras clave: agricultura 4.0, vehículos aéreos no tripulados, red de valor, adopción tecnológica.

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

Autor: Mayte Arely López Santín

Director de tesis: Dr. Jorge Aguilar Ávila

Co-director de tesis: Juan Manuel Aguirre López

GENERAL ABSTRACT

BUSINESS MODELS OF DRONES COMPANIES IN AGRICULTURE IN MEXICO¹

Technologies related to Agriculture 4.0 and 5.0 are increasing. Within this framework, companies resolute to both the sale and rental of autonomous aerial vehicles, known as drones, for agricultural applications are emerging. The aim of this research is to typify business models of companies that are committed to the sale and rental of drones for agricultural uses, by characterizing their value networks, to help develop a strategy for promoting drone technology in Mexican agriculture. In this context, 10 semi-structured interviews and 51 surveys were applied to businessmen, pilots and academics linked to this technology. The analyzed variables allowed to identify the relationships of the actors in the company's value network. The results show that there are four types of value networks, which correspond to the same number of business models: i) drone distributors; ii) drone leasing companies; iii) businesses that fix and maintain drones; and iv) comprehensive business model, which covers fumigation, training, maintenance, fixing and data interpretation. In the characterization of business models, it was found that there is a strong link between actors for distribution and commercialization of drones, being an emerging market, which allows us to affirm that the future of drone companies in Mexican agriculture is promising. Likewise, actions are listed so that small and medium-sized farmers can reduce the barriers they have in terms of accessibility to the use of this technology, with leasing being a mechanism that allows access to its use without a high investment. Decision making based on data collected by drones offers the possibility of identifying actions to obtain higher yields and lower operation costs in agriculture.

Key words: agriculture 4.0, unmanned aerial vehicles, value network, technology adoption.

¹ Master of Science thesis in the Agribusiness Strategy Programme, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Mayte Arely López Santín

Supervisor: Dr. Jorge Aguilar Ávila

Co-Supervisor: Juan Manuel Aguirre López

1.INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La transformación digital de las empresas es una oportunidad de potenciar sus capacidades, y para la agricultura no es la excepción. Tecnologías como la Inteligencia Artificial, el Internet de las Cosas (IoT), sensores directos como las estaciones meteorológicas y sensores remotos como los satélites y drones, ambos colectores de datos para su análisis que sustenten la toma de decisiones, que detonan la innovación (Vaska et al., 2021), tanto tecnológica como empresarial.

En este sentido, en la actualidad cada vez es más evidente el incremento en el uso de drones, que son vehículos aéreos no tripulados, para actividades agrícolas entre las que destacan básicamente dos ventajas: la primera, la detección y monitoreo de cualquier alteración de la salud fisiológica de cualquier cultivo, mediante fotogrametría que contribuye a identificar plagas y enfermedades para la creación de mapas prescriptivos para su posterior tratamiento (Rejeb et al., 2022). Y la segunda, la aspersión que puede ser indiferenciada o, lo deseable, una aplicación de tasa variable (diferenciada), que responde al cuándo, cuánto y dónde aplicar; esto trae como consecuencia un impacto económico diferente a la agricultura convencional, favoreciendo su sustentabilidad (Mogili & Deepak, 2018).

Según el estudio de la Association for Unmanned Vehicle Systems International AUVSI (2013) “El impacto económico de la integración del Sistema Aeroespacial No Tripulado (drones) en la economía de Estados Unidos”, revela que los mercados más prometedores para esta tecnología son los de Agricultura y Seguridad Pública (Acosta-Henríquez & Mendoza-Torres, 2017). Cabe mencionar que según Pino (2019) en el mercado mundial existen diferentes tipos de drones para la agricultura. En este sentido, los más empleados son el dron rotativo cuadricóptero (cuatro motores), el cual tiene un despegue y aterrizaje vertical, posee una mayor maniobrabilidad, tanto en vuelo de manera manual, como automática, con un tiempo de vuelo de hasta 30 minutos, con un alcance

por vuelo de hasta 65 hectáreas (Pino, 2019). El otro tipo de dron, el planeador de ala fija, que al contrario del rotativo no puede permanecer estático en vuelo, para el despegue necesita una pista, además, de que no se puede compactar. El tiempo de vuelo del dron de ala fija es de 30 a 90 minutos con una cobertura por vuelo de hasta 120 hectáreas (Pino, 2019), que dependerá de los parámetros asignados previo al vuelo, que estarán en función de las necesidades de sus objetivos y capacidades del sensor que transporte. Sin perder de vista que el dron es tan sólo el medio de transporte del dispositivo (sensor) o, sistema de interés, como el de aspersión, cámaras, entre otros dispositivos (Mogili & Deepak, 2018; Ren et al., 2020).

Del mismo modo, según la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) hasta febrero de 2018, el uso de drones estaba centrado en fotografía, filmación y levantamientos topográficos; sin embargo, la utilización de drones en tratamientos agrícolas ha experimentado un aumento gradual en los años recientes, lo que en la actualidad ha favorecido la aparición de empresas tanto proveedoras de drones, como prestadoras de servicios (Ipsos Business Consulting, 2017), incluso específicamente en el tema agrícola.

Después de abordar el tema de los drones de manera general, se cuenta con datos específicos que indican un notable aumento en el uso de tecnologías vinculadas a la Agricultura 4.0 y 5.0 en México (Vargas-Canales, 2022). Este contexto incluye la inmersión de los vehículos aéreos no tripulados en dicho ámbito. En este sentido, se observa un crecimiento en las empresas dedicadas tanto a la venta, como al alquiler de drones para aplicaciones agrícolas. No obstante, existen barreras para los pequeños y medianos productores en cuanto a la accesibilidad de dicha tecnología. principalmente por su oportunidad de servicio y costo/hectárea. Por consiguiente, es crucial resaltar qué tipo de negocio está más orientado a cada segmento del mercado.

En este contexto, esta investigación tiene como objetivo caracterizar los modelos de negocio de las empresas que se dedican a la venta y/o renta de drones para usos agrícolas en México, a través de la distinción de funciones y actores clave

que permitan el diseño de una estrategia de promoción de esta tecnología en el agro mexicano.

Este trabajo pertenece a la línea de investigación análisis de sistemas agroindustriales, redes de valor y modelos de negocio del Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM) de la Universidad Autónoma Chapingo.

1.2 Justificación

Se estima que del 80% a 90% del mercado de vehículos no tripulados (drones), en los próximos años serán utilizados para fines agrícolas (Ríos-Hernández, 2021); siendo México un país referente en el uso de drones agrícolas en América desde 2016, y China como creador de estas tecnologías. Es así como surge el interés por investigar el modelo de negocio de las empresas dedicadas a la implementación de drones en el campo mexicano.

Del mismo modo, se busca mostrar los beneficios económicos y agronómicos que trae consigo la implementación de drones para la producción de alimentos, demostrando su ventaja competitiva y de sostenibilidad que tienen las empresas que se están dedicando a vender o prestar el servicio de maquila de drones al sector agrícola.

1.3 Planteamiento del problema

De acuerdo con la FAO, para el año 2050 se tendrán que producir el 70% más de los alimentos que se producen actualmente, ya que se llegará a 10 billones de habitantes en el planeta (De Clercq et al., 2018), lo que implica que es fundamental encontrar una forma de producir una mayor cantidad de alimentos de una manera más eficiente y sostenible. Una forma de lograrlo es mediante la implementación de tecnologías como los drones.

El uso de drones en la agricultura se vincula directamente con al menos cuatro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): i) ODS 2, el cual hace alusión a “hambre cero”, ya que el uso de drones contribuyen en aumentar la eficiencia en la producción agrícola (Mogili & Deepak, 2018), efectuando un monitoreo de

los cultivos, diferenciando la salud de las plantas, o deficiencias de nutrientes de manera más rápida y precisa (Ahrwar et al., 2019; Ghazali et al., 2022); ii) ODS 6, referido a “agua limpia y saneamiento”, ya que mediante imágenes captadas por drones se evalúa la calidad del suelo y la disponibilidad de agua en los cultivos (Delavarpour et al., 2021), con lo cual se pueden diseñar estrategias tanto para optimizar el uso del agua como para reducir la contaminación del suelo y los recursos hídricos; iii) ODS 13, “acción por el clima”, ya que esta tecnología se puede aplicar para monitorear el impacto del cambio climático en los cultivos y así coadyuvar en la planificación de estrategias de adaptación y mitigación; y iv) ODS 15, “vida de ecosistemas terrestres”, debido a que el uso de los drones facilita el monitoreo de cultivos (Ren et al., 2020; Delavarpour et al., 2021) para generar información que permita diseñar estrategias para la gestión de recursos naturales (Guevara-Bonilla et al., 2020) que contribuyan a la conservación de la biodiversidad y la protección de los ecosistemas terrestres. Los drones no solo ayudan a reducir el desperdicio de agua, sino que también agilizan y optimizan la aplicación de agroinsumos, permiten el mapeo así como también el monitoreo de diversos cultivos, y brindan apoyo tanto a empresas como agricultores que enfrentan desafíos para encontrar mano de obra. En resumen, el uso de los drones se enmarca en la tendencia de las llamadas agricultura 4.0 y 5.0 (Albiero et al., 2020; Vaska et al., 2021; Maffezzoli et al., 2022) y contribuirá a aumentar la productividad agrícola de manera sostenible (Pathak et al., 2020), ayudando a reducir el hambre y la inseguridad alimentaria. Dentro de este contexto, emergen empresas dedicadas tanto a la venta como a la renta de drones para su uso en la agricultura.

Ahora bien, con base en los estudios revisados concernientes a la implementación de tecnología dron en la agricultura, es posible aseverar que es escasa la información respecto a la aplicación de tecnología de la agricultura 4.0 y 5.0 en México, incluso Vargas-Canales (2022, pág. 92) hace referencia en que “en el sector agroalimentario las reflexiones y análisis de la digitalización son escasos y en el caso de México casi inexistentes”. Si bien como se menciona en los estudios, la aplicación de estas herramientas tecnológicas es un tema

relativamente nuevo, donde se tuvo un crecimiento exponencial, fue en la época de la pandemia, y ahora se requiere mayor investigación al respecto.

Actualmente en el sector agroalimentario mexicano la agricultura 4.0 y 5.0 se ha enfocado en la utilización de drones para algunas labores agronómicas, entre las que destacan la aplicación de pesticidas y fertilizantes (Montes-Colmenares, 2020), así como también en apoyo a otras tecnologías que se encuentran dentro de la agricultura de precisión.

Cabe mencionar que según Vargas-Canales (2022, pág.92) “el uso, adopción y aprovechamiento de las nuevas tecnologías en el sector agroalimentario genera buenas expectativas sobre el futuro de la producción de alimentos”. Por lo que es fundamental entrevistar a expertos en el tema para que plasmen su opinión sobre el uso actual y perspectivas a futuro en el uso de drones en el sector agrícola de México.

Este estudio analizará y caracterizará el perfil de empresas que distribuyen y proveen sus servicios con el uso de los drones en el sector agroalimentario en México. A partir del análisis de la información recabada, se diseñará una estrategia que permita contribuir a la difusión de las empresas que ofrecen el servicio de venta o renta de drones en el campo mexicano.

Por lo anterior, la caracterización de una empresa que se dedica a vender y rentar drones en el sector agrícola resulta valiosa por diversas razones. Entre estas, se destaca la identificación de ventajas competitivas, señalar las necesidades del mercado, comprender los movimientos estratégicos y reconocer las tendencias del sector agrícola, contribuyendo a ofrecer un mejor producto o servicio por la empresa.

De igual manera en el contexto empresarial es importante entender a quién se dirige la empresa. Esta comprensión detallada permite crear estrategias de marketing más efectivas y dirigidas. Por ejemplo, si la empresa se orienta hacia productores pequeños o grandes, se pueden diseñar enfoques específicos que se alineen con las necesidades y con las características particulares de cada

segmento, maximizando así el impacto y eficacia de las estrategias de comercialización del producto o servicio de drones.

En el sentido directivo, la caracterización de las empresas de drones en la agricultura proporciona información valiosa que se puede ocupar para la toma de decisiones informadas; así como también contribuye a la identificación de oportunidades de crecimiento.

1.4 Objetivos de la investigación

En el apartado subsecuente se especifica el objetivo general, seguido de los objetivos específicos de la investigación. De la misma manera, los antes mencionados se muestran en la matriz de congruencia del Apéndice 1.

1.4.1 Objetivo general

Analizar los modelos de negocio de las empresas que se dedican a la venta y renta de drones para uso agrícola en México, a través de la distinción de sus componentes, funciones y actores clave, con el fin de contribuir al diseño de una estrategia de promoción de esta tecnología en el agro mexicano.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar los principales orígenes, usos y aplicaciones de los drones en el sector agrícola en México; a partir de un análisis bibliométrico, entrevistas a diversos actores, encuestas con escalas Likert, y revisión de literatura con el fin de obtener un contexto detallado acerca del desarrollo cronológico de estas empresas; con el propósito de comprender mejor el panorama actual; así como también las tendencias futuras de la tecnología de los drones en la agricultura mexicana.
2. Caracterizar la estructura de la red de valor de las empresas dedicadas a la comercialización y/o renta de drones en el sector agrícola en México través de una metodología basada en entrevistas y encuestas, para recopilar información relevante sobre los procesos de producción, distribución, comercialización y prestación de servicios de estas empresas, con el fin de identificar las áreas de mejora, fortalecer las

relaciones con los diferentes actores de la red de valor y colaborar al crecimiento de la empresas de drones en el sector agrícola.

3. Analizar los principales modelos de negocio, características y ventajas competitivas mediante el uso del lienzo CANVAS para comprender los modelos de negocio que están siendo más efectivos en la actualidad en el ámbito de los drones, y de cómo pueden ser mejorados para maximizar su impacto en el sector agroalimentario.
4. Plantear estrategias de difusión de la tecnología dron en la agricultura, analizando los modelos de negocios tipificados y estudiados con el fin de que la tecnología dron en el ámbito agrícola sea más conocida e implementada en México.

1.5 Preguntas de investigación

Con base en las características del sector y las oportunidades que enfrenta, las principales preguntas de investigación que se plantea son:

1. ¿Qué usos se les da a los drones en la agricultura en México y en el mundo? ¿Los modelos de negocios de las empresas de drones en la agricultura están familiarizados con el término de Agricultura 4.0 y 5.0? ¿Cuál es la perspectiva de los empresarios, investigadores y usuarios en cuanto al uso de los drones en el sector agroalimentario en México?
2. ¿Cómo es la interacción entre competidores, complementadores, proveedores y clientes en las empresas que venden o rentan drones con fines agrícolas?
3. ¿Cuáles son las ventajas competitivas que ofrece cada uno de los modelos de negocio de drones en la agricultura? ¿Cuál es la propuesta de valor de estas empresas y sus principales métricas?
4. ¿Qué elementos deben contener las estrategias para que la tecnología dron en la agricultura tenga mayor aceptación/penetración por parte de los diversos actores de la quíntuple hélice? ¿Qué rubros son necesarios impulsar para ampliar el uso de drones en el sector agrícola mexicano?

Estas preguntas planteadas servirán de base para el desarrollo de las hipótesis planteadas a lo largo de esta investigación.

1.6 Hipótesis

Con base en los objetivos y preguntas de investigación, se plantean las siguientes hipótesis, de igual manera se presentan en la matriz de congruencia que se muestra en el Apéndice 1.

- i) El uso de los drones en la agricultura en México está conformado por distintos actores, su relación condiciona la difusión de esta innovación tecnológica entre los productores, empresas y centros de investigación.
- ii) Si se hace una caracterización detallada la estructura de la red de valor de las empresas enfocadas en la comercialización y/o renta de drones en el sector agrícola en México, entonces se obtendrá una comprensión profunda de los procesos de producción, distribución y comercialización de drones, facilitando la identificación de áreas de mejora.
- iii) Si se examinan detalladamente los principales modelos de negocio en el ámbito de los drones agrícolas, identificando las diferencias en los servicios ofrecidos y los clientes involucrados, se evidenciará que la implementación de drones en la agricultura conlleva una reducción de costos y tiempo. Este análisis permitirá comprender mejor las ventajas competitivas de cada modelo, del mismo modo destacará cómo la incorporación de drones contribuye de manera sobresaliente a la rentabilidad y eficiencia en el sector agrícola.
- iv) Si se diseñan e implementan estrategias efectivas para documentar y analizar información de las empresas que usan drones agrícolas en México, entonces se aumentará significativamente la difusión y adopción de la tecnología dron en el sector agrícola de México.

1.7 Estructura de la tesis

Este trabajo de investigación se divide en seis capítulos, los cuales están representados en la Figura 1. En el primer capítulo se describe el tema de estudio, antecedentes, justificación, planteamiento del problema, preguntas de investigación, objetivos e hipótesis. En el capítulo dos se aborda el marco teórico, en donde se exponen los temas y teorías principales entre las que destacan modelos de negocio, agricultura 4.0, 5.0 y drones.

El capítulo tres contiene el marco referencial, donde se muestra el uso de los drones en la agricultura, así como también el crecimiento de las herramientas digitales en México.

Con base en el capítulo dos y tres, se configuró el capítulo 4 que describe la metodología que se siguió para la colecta de información, así como también los materiales y métodos que se emplearon.

En el capítulo cinco se abordan los resultados obtenidos de esta investigación, al igual que su discusión. Este apartado contiene cuatro secciones, producto de los objetivos planteados: la primera se refiere a los usos, aplicaciones y perspectivas de los drones en la agricultura, así como también un análisis bibliométrico al respecto; en la segunda sección se describen las redes de valor de los modelos de negocio de las empresas de drones en México; en la tercera se muestra el modelo CANVAS para cada modelo de negocio y finalmente la sección cuatro se establecen las estrategias que deben seguir los modelos de negocio emergentes en el giro de empresas de drones en la agricultura mexicana.

Finalmente en el capítulo seis, se dan a conocer las conclusiones de esta investigación, así como las limitaciones que presenta y, algunas recomendaciones para los próximos trabajos.

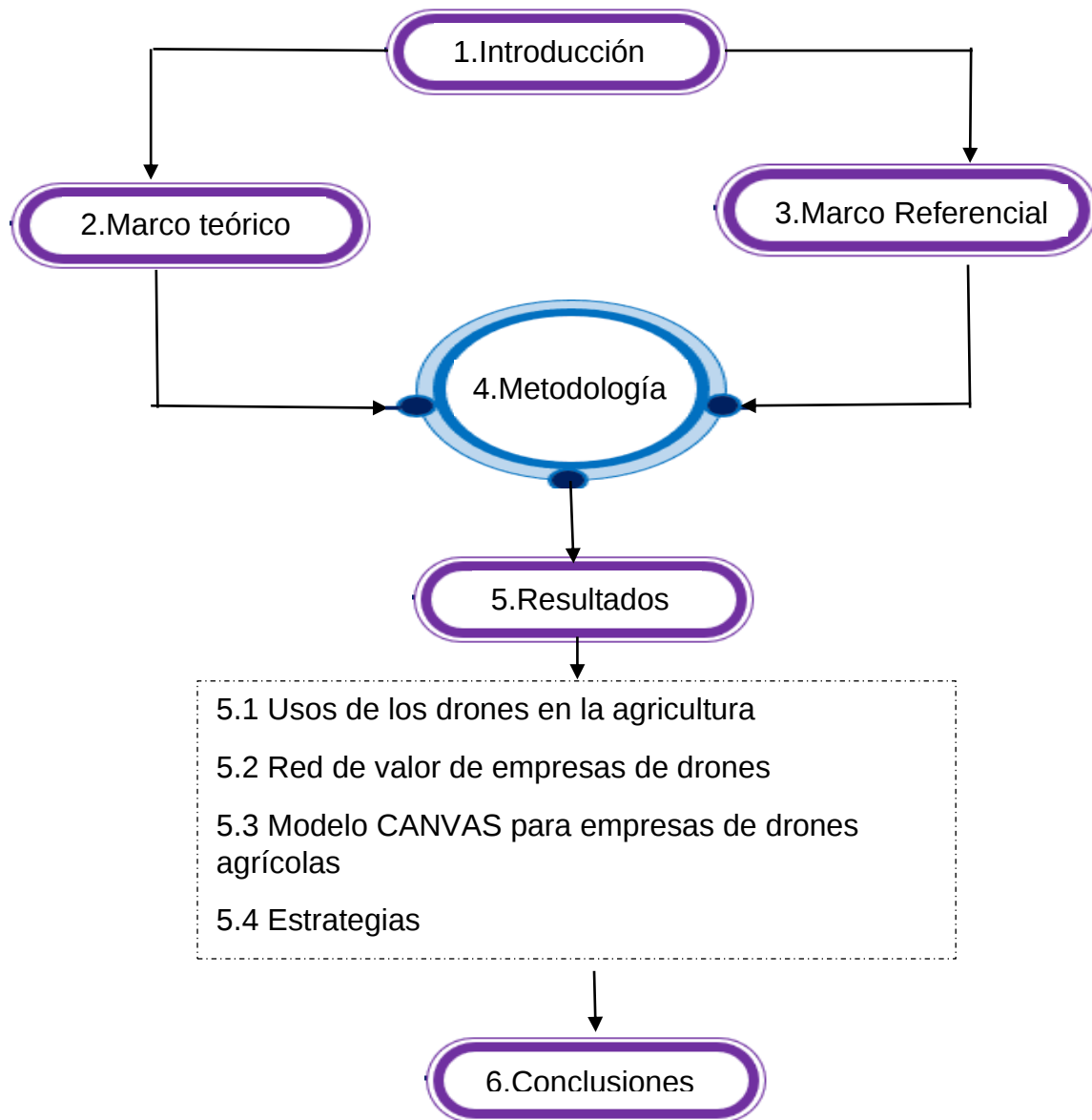


Figura 1. Estructura de la tesis

Fuente: Elaboración propia

2. MARCO TEÓRICO

El uso de drones en la agricultura es un tema emergente y en constante evolución. El análisis bibliométrico de drones en la agricultura realizado por Rejeb et al. (2022) muestra que la investigación en esta área ha aumentado significativamente en los últimos años, lo que confirma el interés y la importancia de esta tecnología en la mejora de la producción agrícola. Del mismo modo, se destaca la importancia de abordar los desafíos tanto regulatorios como sociales asociados con el uso de drones en la agricultura. Asimismo, se enfatiza la necesidad de considerar factores económicos y de adopción al desarrollar modelos de negocio efectivos.

2.1 Modelos de Negocio

El Modelo de Negocio ha tomado vital importancia en el desarrollo empresarial de nuestros días a nivel global, ya que al tenerlo se proporciona una visión clara de hacia dónde se dirige la empresa, que funciones realizará para lograr los objetivos y hacia quien va dirigido su producto o servicio. Con el surgimiento del Internet se cambió la forma de ver los modelos de negocio, la cual tuvo una expansión acelerada (Caballero-García & Santoyo-Cortés, 2019); un ejemplo de esto se puede ver con aplicaciones como Airbnb y Uber, ya que anteriormente sólo se enfocaba en la elaboración de un producto sin tomar en cuenta las tendencias del mercado, canales y la forma de venta con los clientes. En la Figura 2 se representa a groso modo los rubros de un modelo de negocio (Newth, 2012).

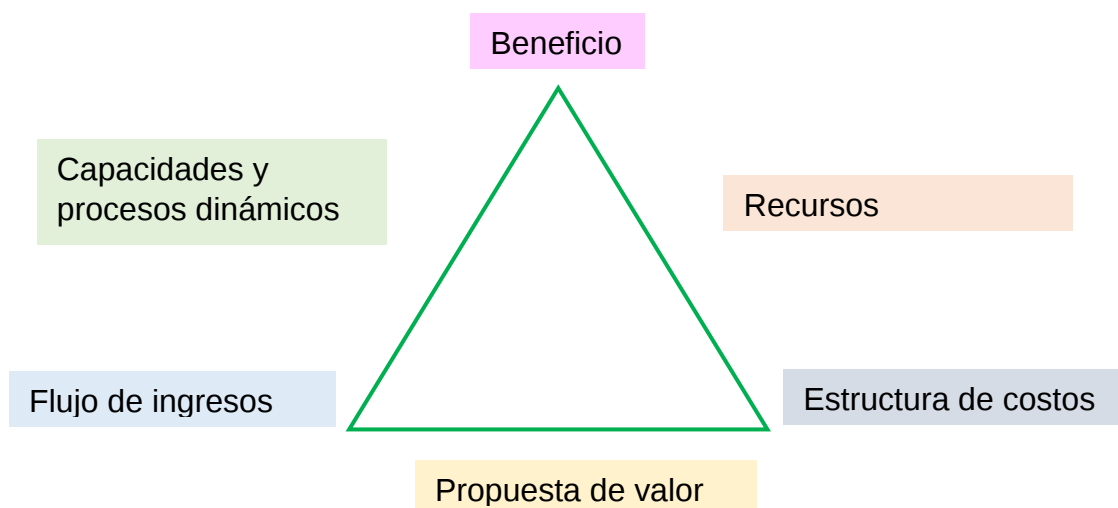


Figura 2.Componentes de un modelo de negocio

Fuente: Newth,2012

Ahora bien, en el sector agrícola, los modelos de negocio se han desarrollado de manera más tradicional. Sin embargo, en la actualidad estos modelos están sufriendo una transición a modelos digitales, como el caso del uso de los drones (Ríos-Hernández, 2021), comercio digital, e incluso se empieza a manejar la inteligencia artificial para la toma de decisiones basada en datos, que serán benéficos para el negocio.

En este sentido, un modelo de negocio es la descripción de cómo una empresa crea, entrega y captura valor (Osterwalder & Pigneur, 2011). Es decir, es la forma en que una empresa genera ingresos a través de su actividad empresarial. Así mismo CGIAR & CIAT (2014) define al modelo de negocio como un esquema de un sistema o realidad compleja que se elabora para simplificar su entendimiento y el estudio de su interacción.

Algunas de las teorías que se tomaron en cuenta para el desarrollo de esta investigación con respecto al modelo de negocio se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Teorías sobre modelos de negocio

Autor	Teoría de Modelo de Negocios	Descripción	Enfoque principal
Osterwalter & Pigneur (2011)	CANVAS de Modelo de Negocios	Utiliza un lienzo visual para describir nueve componentes clave dentro de una empresa	Síntesis, descripción y visualización de elementos clave
Porter, (2016)	Teoría de la Red de valor	Es una teoría en donde se descomponen las actividades de una empresa en cadenas de valor para localizar áreas de ventaja competitiva	Análisis detallado de actividades empresariales
Chesbrough (2003)	Teoría de la Innovación Abierta	Describe que las empresas deben buscar y aprovechar ideas y tecnologías externas	Colaboración y apertura a fuentes externas de innovación

Fuente: Elaboración propia con base en revisión de literatura

Osterwalder & Pigneur (2011), describen al modelo de negocios con una perspectiva de carácter visual, representándolo mediante un lienzo compuesto por nueve módulos que simplifican su creación, análisis y comprensión, los cuales son:

1)Segmento de mercado. Es un grupo de clientes con necesidades, preferencias y características similares, que una empresa identifica y selecciona como el público objetivo de su producto o servicio. En otras palabras, el segmento de mercado representa a quién va dirigido el producto o servicio de la empresa.

Existen diferentes tipos de segmentación del mercado, como puede ser una segmentación demográfica, donde se juega con la edad, género o ingresos de los clientes. También existe la segmentación geográfica, que va más de la mano en la zona o región en la que se venderá el producto. Finalmente una segmentación conductual que tiene que ver más con los gustos y preferencias del consumidor (Palimariciuc, 2022).

Algunos beneficios de la segmentación del mercado son:

- Se orientan los servicios y productos, precios, promoción y canales al segmento de mercado seleccionado (Stanton et al., 2013).
- Se enfoca más la mercadotecnia al público objetivo.
- Se identifican y determinan los potenciales consumidores de los productos y servicios que se están ofreciendo.

2) Propuesta de valor. Es la oferta única y diferenciada que una empresa hace a sus clientes para resolver un problema, satisfacer una necesidad o cumplir un deseo específico. Es lo que hace que un producto o servicio sea atractivo y valioso para los clientes.

Por lo general, lo que busca el cliente en una propuesta de valor, es la diferenciación del producto o servicio, con lo que ya existe, es decir lo que comúnmente conocemos como competencia. En este sentido con la propuesta de valor se debe dejar claro que es lo que se está haciendo diferente y funciona mejor que las otras alternativas.

Dentro de las características que debe contener la propuesta de valor se encuentran la claridad, relevancia y beneficio para el usuario. Por ejemplo con los modelos de negocio de drones en la parte de fumigación, se debe mostrar

una ventaja competitiva con respecto a la que ofrece una mochila aspersora, pulverizadora o avioneta.

Las características que hacen que el cliente elija la propuesta de valor se refieren a que deben ser novedosas, es decir, ofrecer algo que no sea tan común ver. De igual manera los elementos visuales y personalización que llamen la atención del cliente. Marca y estatus que respalde que es un producto de calidad.

Dentro de otros factores que contribuyen a mejorar la propuesta de valor son el precio (tiene que ser menor que el de la competencia), minimizar los riesgos que implica adquirir cierto producto o servicio y garantizar la accesibilidad, es decir, que esté disponible cuando el cliente lo requiera.

Para los nuevos modelos de negocio digitales tanto en el agro como en otros sectores los usuarios están buscando un cambio que transforme (IDB Invest, 2022), que haga las cosas más rápido y eficientes, aunado que debe de ir de la mano con el cuidado del medio ambiente.

3) Canales. Son los medios a través de los cuales una empresa lleva sus productos o servicios al mercado y se comunica con sus clientes. Los canales pueden incluir una variedad de medios, como tiendas físicas, sitios web, aplicaciones móviles, redes sociales, tiendas en línea, distribuidores y otros intermediarios.

Los canales son capaces de cumplir múltiples funciones como: facilitar la compra, mantener la imagen de la marca o ayudar a la evaluación de productos. Si el canal es en línea, el cliente puede dar su opinión por esa misma vía del servicio que se le está ofreciendo.

Dentro de las ventajas que ofrece tener canales adecuados de venta está el alcance amplio; si la empresa cuenta con múltiples canales, esto permitirá que el producto o servicio llegue a un público más extenso, así como también mejorar la experiencia del cliente al poder encontrar el producto con mayor facilidad.

Una buena elección de los canales a manejar por la empresa mejora la eficiencia operativa de la misma, reduciendo costos de distribución y haciendo más eficiente el manejo de inventarios. Por consiguiente, también se tendrá un incremento en las ventas, ya que el producto o servicio estará presente en múltiples puntos de contacto.

La implementación efectiva de canales fortalece la relación con clientes, mejora la eficiencia operativa y contribuye a nuevas oportunidades de crecimiento.

4) Relaciones con clientes. Se refiere a la forma en que una empresa interactúa y se comunica con sus clientes. Esto puede incluir la atención al cliente, el soporte postventa, el servicio de asesoramiento y cualquier otro tipo de interacción que tenga como objetivo mejorar la experiencia del cliente.

Es esencial este rubro, ya que, para el éxito de un negocio, influyen la satisfacción del cliente, la lealtad (Osterwalder & Pigneur, 2011) y la rentabilidad.

Dentro de las ventajas que proporciona tener una relación fuerte con los clientes, consiste en que los clientes satisfechos por lo regular con más propensos a recomendar la empresa a otras personas. Del mismo modo conocer bien a los clientes y sus preferencias permite a las empresas hacer recomendaciones relevantes y personalizadas (Stanton et al., 2013).

Una buena gestión de las relaciones con los clientes puede diferenciar a un negocio con el resto de sus competidores, generando posicionamiento único en el mercado e incremento de consumidores de su producto o servicio.

5) Fuentes de ingresos: Son las formas en que una empresa genera ingresos a través de sus productos o servicios. Es importante que una empresa identifique y diversifique sus fuentes de ingresos para mantener la rentabilidad y la estabilidad a largo plazo.

Como lo mencionan Puga et al. (2023), el objetivo de toda empresa es obtener una utilidad, es decir, que los ingresos sobrepasen los costos. En el lienzo CANVAS este apartado es el encargado de registrar los flujos y actividades que generan ingresos a la empresa.

Por ejemplo, en el modelo de negocios de empresas de drones en la agricultura las fuentes de ingreso son comercialización y arrendamiento de drones.

6) Recursos clave: Es el módulo donde se describen los activos físicos, financieros y humanos necesarios para que una empresa pueda operar y ofrecer sus productos o servicios.

Los recursos clave son fundamentales para que una empresa sea capaz de entregar la propuesta de valor (Osterwalder & Pigneur, 2011), llegando a los segmentos del mercado, logrando así, tener estupendas relaciones con los clientes y obtener ingresos.

Los tipos de recursos clave se clasifican en:

- Recursos físicos: infraestructura, vehículos, equipos, puntos de venta.
- Recursos humanos: gerentes, empleados y consultores externos.
- Recursos intelectuales: marcas, patentes, derechos de autor, bases de datos, algoritmos.
- Recursos financieros: línea de crédito, capital, inversiones.

La principal ventaja de tener bien identificados y gestionados los recursos clave dentro de una empresa, es que aseguran la sostenibilidad a largo plazo del negocio, facilitando la escalabilidad y por lo tanto la capacidad de crecer y expandirse a nuevos mercados.

7) Actividades clave: Son las tareas o procesos que una empresa debe realizar para operar y crear valor para sus clientes (Osterwalder & Pigneur, 2011).

Algunas de las actividades claves son la producción, distribución, comercialización y atención al cliente (García-Puga, 2023), otros autores también manejan la resolución de problemas como actividad clave.

Dentro de las ventajas que fortalecen tener las actividades clave bien definidas, es que asegura que la empresa mantenga altos estándares de calidad, innovando y manteniéndose competitivas en el mercado. En este sentido esta

capacidad nos da un tiempo de respuesta más rápido ante las tendencias del mercado y lanzar nuevos productos y servicios para actualizarse.

8) Asociaciones clave. Apartado compuesto por la red de proveedores, socios y organizaciones que contribuyen a la operación del modelo de negocio, entre las que destacan las instituciones tanto privadas como públicas.

Las asociaciones clave permiten a un negocio o empresa acceder a recursos o conocimientos con los que no cuenta internamente; contribuyendo al acceso de nuevos mercados, segmentos de clientes o de distribución, permitiendo una mayor expansión y penetración en el público.

De igual manera se fabrican redes de proveedores, que contribuyen a que el proceso operativo se realice de manera más rápida y eficaz.

En la parte de investigación y desarrollo, contar con asociaciones clave con instituciones académicas permite fortalecer la vinculación entre la academia y el sector empresarial logrando el desarrollo de productos y servicios de vanguardia.

Las asociaciones clave son esenciales ya que complementan al negocio con todas las actividades mencionadas anteriormente.

9) Estructura de costos. En este concepto se muestra el conjunto de costos y gastos que una empresa incurre para operar y ofrecer sus productos o servicios.

En este sentido, en este apartado del modelo CANVAS, se incluyen los costos tanto fijos como variables (García-Puga, 2023). Los costos fijos, son los costos que no cambian con el número de ventas y permanecen constantes en un periodo de tiempo, mientras que los costos variables, dependen del nivel de producción o ventas.

Ahora bien, tener una buena estructura de costos es útil para mejorar la rentabilidad de la empresa, así como también para tomar decisiones más informadas. Consecuentemente, estas acciones contribuirán a aumentar la eficiencia operativa y mantener una ventaja competitiva.

Con base en estos nuevos apartados se argumenta que el análisis del modelo de negocios es una herramienta útil para identificar problemas u oportunidades en cualquier modelo de negocio que no son detectados a simple vista por el empresario o productor.

2.2 Estructura de la Red de valor

En su trabajo titulado “Coo-petencia”, los autores Nalebuff, B. J. & Brandenburger (2005) introducen el término de red de valor, el cual destaca las relaciones entre diferentes actores clave como clientes, competidores, proveedores y complementadores (Figura 3). Los cuales, guardan ciertas relaciones entre ellos cuyo punto medio es el eje tractor.

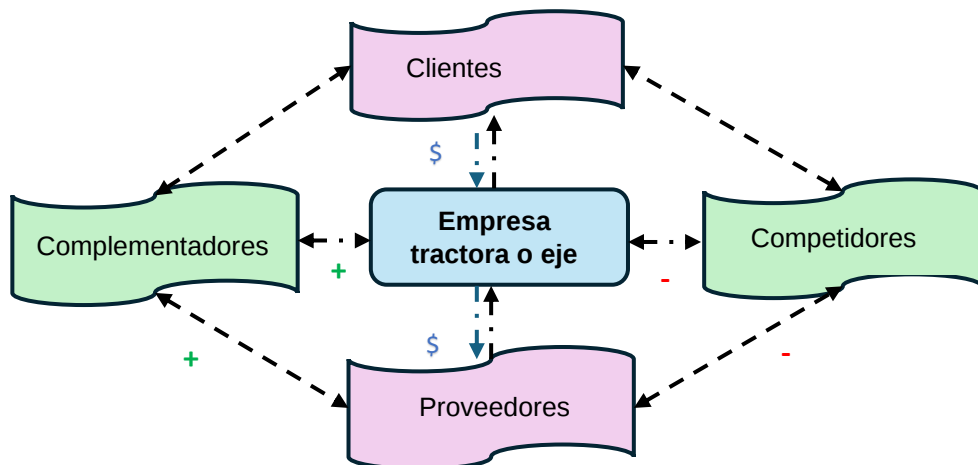


Figura 3. Estructura de la Red de valor

Fuente: Notas Muñoz, M. en base a Nalebuff & Brandenburger, 2005

En este sentido de la red de valor, los clientes son los individuos que adquieren y usan los productos ofrecidos por una empresa o negocio. Son parte fundamental para cualquier compañía ya que son los que impulsan el negocio.

En cuanto a los proveedores, estos son las entidades que suministran los insumos y/o servicios para que la empresa pueda operar y producir los diferentes productos y/o servicios. Es el eslabón clave en la cadena de abastecimiento, siendo así que al tener una buena proveeduría influye en la eficiencia en entregas, costos y calidad.

Los competidores son todas las empresas que ofrecen productos y servicios similares, estos influyen en la dinámica del mercado lo que puede afectar la posición y estrategia de una empresa.

En la parte de los complementadores, estos suelen ser socios estratégicos que contribuyen a la vinculación o apoyo para la empresa generalmente en este sentido se destaca técnicos, socios comerciales, instituciones privadas y de gobierno.

La red de valor ayuda a comprender la estructura “estática” y relaciones de una empresa. No obstante, para obtener una visión más completa y dinámica de la competitividad y del entorno en el que opera una empresa, es importante complementar con la teoría del diamante de Porter (Figura 4) y las cinco fuerzas de Porter.

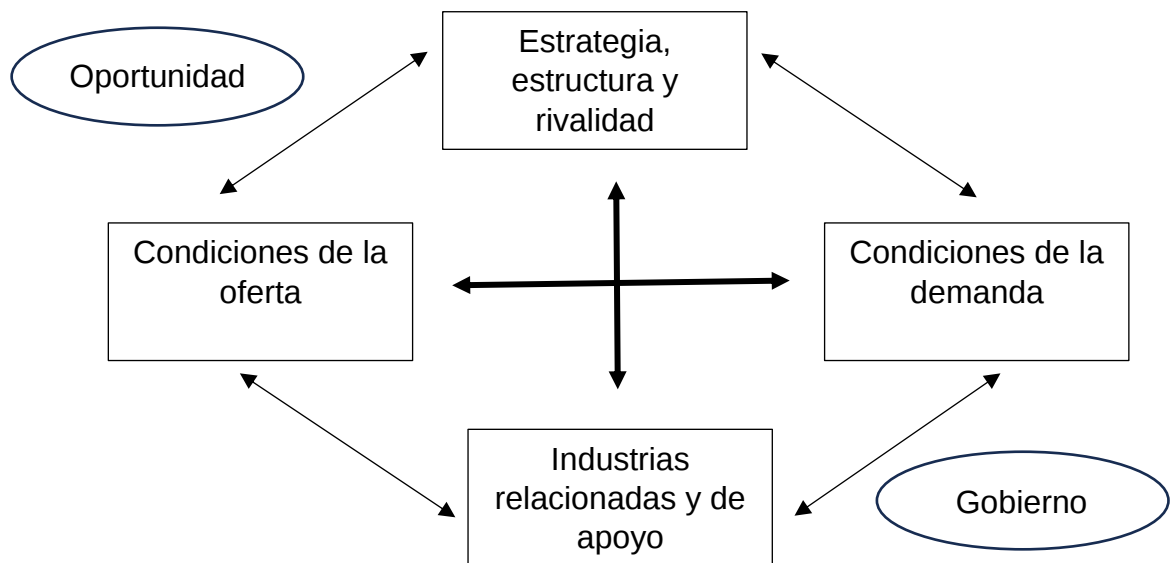


Figura 4. Diamante de Porter

Fuente: Porter, 2008

Las Cinco Fuerzas de Porter ofrecen un marco para entender la estructura de la empresa y la intensidad de la competencia (Porter, 2008), haciendo énfasis especial en los factores externos que afectan la rentabilidad de cierta empresa.

Los inconvenientes que se presentan son la rivalidad entre competidores, la amenaza de nuevos entrantes, es decir, que nuevas empresas ingresen al mercado e incrementen la competencia, amenaza de producto o servicios sustitutos

Realizando una combinación entre el diamante y las cinco fuerzas de Porter, una empresa puede analizar tanto su situación actual como los cambios que se están generando en el entorno, para mantenerse competitivo a lo largo del tiempo.

2.3 Adopción tecnológica

La adopción de tecnología en cualquier sector de la población está influenciada por numerosos factores que requieren una evaluación cuidadosa. Por ejemplo, según los hallazgos de la investigación realizada por Obiero et al., (2019), se descubrió que variables como la educación, las actividades diversificadas en la granja, el tamaño de la granja, los niveles de producción, la asistencia técnica, la capacitación y extensión, la facilidad de comprensión, así como la facilidad de manejo de las tecnologías fueron predictores positivos y significativos de la adopción de tecnología.

La idea anterior se refuerza con la investigación de Siddharth et al., (2021) donde se menciona que los factores que promoverán la adopción e implementación de tecnologías agrícolas sostenibles, incluyen una mejor educación y capacitación para los agricultores.

Ahora bien, en el enfoque de adopción de tecnologías pertenecientes a la Agricultura 4.0, Vargas-Canales (2022) menciona que el aprovechamiento de las nuevas tecnologías en el sector agroalimentario genera buenas expectativas sobre el futuro de la producción de alimentos. Sin embargo, la difusión de las tecnologías digitales en la sociedad introduce un cambio disruptivo. No obstante, las investigaciones recientes entre las que destaca el documento de Pathak et al. (2020), han demostrado que el uso de tecnologías digitales concernientes a la Agricultura 4.0 y 5.0 presentan mayores beneficios para la producción agrícola, contrastando un poco con la percepción del estudio de Vargas-Canales (2022).

Algunos estudios indican que a pesar de que los beneficios que se podrían obtener, la tasa de adopción, por ejemplo, en el caso de la agricultura inteligente, no ha sido uniforme en algunos países (Pivoto et al., 2019). Lo anterior debido principalmente a que la adopción de estas tecnologías requiere más años de educación formal por parte de la población, asesoría, capacitación y experiencia sobre su uso, y en algunos casos una mayor escala de producción y altos niveles de inversión de capital (Vargas-Canales, 2022). Sin embargo, esto no se considera una limitante para implementar estas tecnologías en el territorio

mexicano, ya que se ha demostrado en investigaciones de otros países que la implementación de tecnología es una oportunidad de crecimiento económico a la vez de que resulta beneficioso en el aprovechamiento de recursos que colaboran a reducir el impacto ambiental en el planeta.

Siguiendo con los conceptos previos, el perfil de los agricultores y empresas que son más susceptibles a la adopción de la agricultura 4.0 y 5.0, son los que cuentan con alto nivel de producción. Esto se debe a que estas tecnologías les permiten optimizar procesos como la fertilización, fumigación, y detección temprana de plagas y enfermedades, lo que resulta en un ahorro de recursos y la prevención de algún tipo de catástrofe. Además, los actores que cuentan con educación formal comprenden que las tecnologías digitales pueden contribuir a la mejora en la producción de alimentos.

En este sentido, es de suma importancia tener claro el concepto de innovación , el cual se define como la introducción de un producto o proceso nuevo o mejorado (o una combinación de ambos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores y que este ha sido puesto a disposición de los usuarios potenciales (OECD/Eurostat, 2018). La innovación es necesaria para seguir mejorando y generando valor a cierto proceso, tecnología u organización.

Por lo anterior, es indispensable considerar una definición primordial sobre innovación tecnológica, que según Opio & Sangoluisa-Rodríguez (2015) y OECD/Eurostat, (2018), es la aplicación de nuevas ideas, conocimientos científicos o prácticas tecnológicas para desarrollar, producir y comercializar bienes o servicios nuevos o mejorados, reorganizar los procesos de producción o enriquecer sustancialmente un servicio.

2.4 Agricultura 4.0

La Agricultura Digital o 4.0, es parte de la cuarta revolución industrial que engloba a todas las áreas de la industria (Schwab, 2016). En este sentido, la agricultura digital es un soporte fundamental que forma parte de la agricultura de precisión, en este enfoque se utilizan herramientas como el Internet de las cosas (IoT), *big*

data y sistemas de información geográfica, lo cual permite a los agrónomos y a los agricultores tomar decisiones basados en datos.

Ahora bien, dentro del marco de la Agricultura 4.0 existe una gran cantidad de información documental sobre el alcance de las tecnologías digitales en el sector agrícola. En este sentido, Albiero et al., (2020) llegan a afirmar que la Agricultura 4.0 es una tendencia inevitable e irreversible en la agricultura moderna. Del mismo modo los autores aseveran que la agricultura digital tiene un inmenso potencial ya que las tecnologías de la información y comunicación cada vez tienen más presencia entre las sociedades.

Ahora bien, pero para esto ¿Qué es Agricultura 4.0? Según Maffezzoli et al., (2022) se puede describir como la evolución de la agricultura de precisión, realizada a través de la recopilación, integración y análisis automatizados de datos del campo, sensores de equipos y otras fuentes de terceros.

Del mismo modo, la Agricultura 4.0 ha tomado forma a partir del desarrollo paulatino de las bases fundamentales como lo son: el Internet de las cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA) y la conectividad ligada al *cloud computing* (Albiero et al., 2020). En este mismo sentido como lo mencionan Weisbach et al., (2020) para la mejora en la productividad agrícola se están ocupando varias aplicaciones como el análisis de *big data* o las tecnologías de drones.

El principal beneficio de la Agricultura 4.0 (Figura 5) es que proporciona o permite conocer datos en tiempo real sobre las condiciones específicas de cierto cultivo o unidad de producción, en los tres aspectos importantes para la productividad de la agricultura: i) el suelo (temperatura y humedad, evaporación, entre otras variables); ii) ambiente (temperatura y humedad, radiación fotosintética) y iii) algunos parámetros fisiológicos propios de los cultivos mismos (transpiración, índice de área foliar, entre otros). Esto se logra mediante el uso de Internet, sensores y conectividad con diferentes tipos de dispositivos, lo que permite tomar decisiones de manera rápida que contribuyan a resolver cierto problema o situación a mejorar algún proceso que presente limitantes, lo que a su vez se traduce en reducción de los costos de producción. Es importante comentar que

la Agricultura 4.0 también se conoce como agricultura digital o agricultura inteligente, lo que refuerza el hecho de la necesidad de realizar más investigaciones y delimitaciones sobre este tema.

En la Figura 5 se muestra una serie de palabras clave que destacan la transición a una agricultura digital. Es importante tomar en cuenta que el promedio de edad de los agricultores en México es de 51 años (INEGI, 2022) esto quiere decir, que la población que trabaja en el campo está envejeciendo. Del mismo modo, se ha visto una reducción de los jóvenes para dedicarse a actividades relacionadas con el sector agrícola, principalmente por la migración, al igual en el sentido en que los jóvenes ya no tienen interés en estas actividades, debido a que los salarios y prestaciones laborales son inferiores en comparación de otros sectores. Por lo que la implementación de las tecnologías de la Agricultura 4.0 y 5.0 pueden retomar la disposición de las nuevas generaciones por contribuir en el sector agrícola.

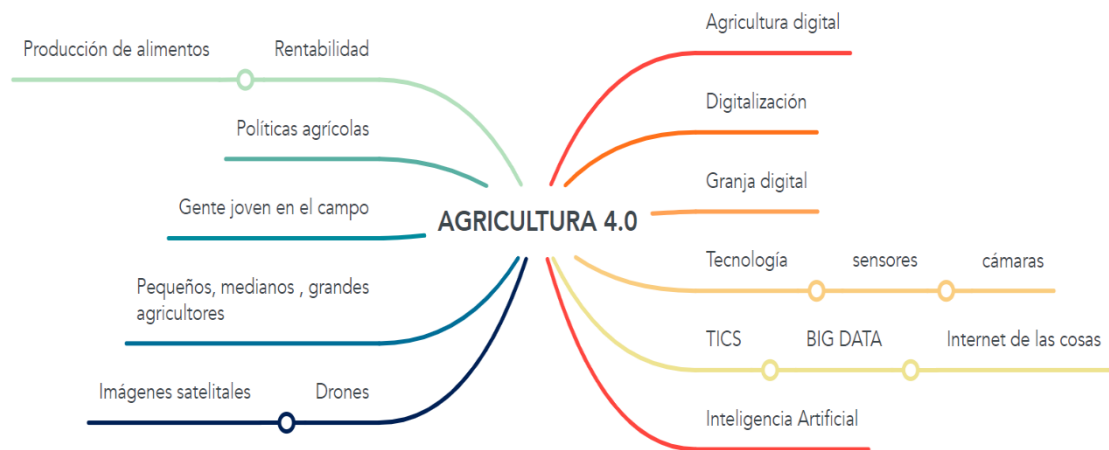


Figura 5. Componentes de la Agricultura 4.0 y transición hacia la Agricultura 5.0

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, dentro del sector mexicano la investigación de Vargas-Canales (2022) se plantea la pregunta: ¿Cuál es el potencial que tiene México para implementar de forma masiva las nuevas tecnologías de la agricultura 4.0 y 5.0 en el sector agroalimentario?, con esta interrogante el autor estableció el objetivo de la investigación, el cual fue identificar el potencial que tiene México para la adopción de las tecnologías digitales en el sector agroalimentario (Vargas-Canales, 2022). Dicha investigación se analizó con los datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019.

Se llegó a la conclusión de que el sector agroalimentario mexicano presenta limitaciones para el uso efectivo de la ciencia y tecnología, así como también para el desarrollo de innovaciones. Sin embargo, este hallazgo subraya la necesidad de realizar investigaciones que impulsen el desarrollo e implementación de tecnologías digitales. Un ejemplo abordado en la investigación es la implementación de drones en el campo, evidenciando los beneficios que esta herramienta puede aportar a la producción agrícola.

2.4.1 Agricultura 4.0 desde la perspectiva social

Klerkx et al., (2019, pág. 1) señalan que “Investigadores de ciencias sociales han comenzado recientemente a investigar diferentes aspectos de la agricultura digital en relación con los sistemas de producción agrícola, las cadenas de valor y los sistemas alimentarios”, es sumamente relevante este párrafo ya que es uno de los enfoques que se planea hacer en la presente investigación.

Con la literatura revisada y analizada, los autores del estudio antes citado concluyen que la investigación en ciencias sociales, en conjunto con las ciencias naturales o técnicas, puede desempeñar un papel fundamental en el desarrollo de la agricultura digital. Este enfoque permite considerar y abordar las dinámicas sociales, tratando así de mejorar los beneficios y mitigar las posibles consecuencias negativas de estas tecnologías emergentes (Klerkx et al., 2019).

También hay un interés creciente en el tema de la agricultura digital dentro de los círculos políticos, incluidos los elementos socioeconómicos de la digitalización.

Este fenómeno ha dado lugar a varias publicaciones orientadas a los líderes políticos y profesionales (Klerkx et al., 2019). Aunque este interés es específico en Países Bajos, se plantea la posibilidad de adaptar y replicar este enfoque en países latinoamericanos, como lo es en el caso de esta investigación que está tomando el país de México como referente.

2.5 Agricultura 5.0

En este momento la agricultura se encuentra en una etapa de transición de la Agricultura denominada 4.0 o digital a lo que se denomina Agricultura 5.0 (Fraser & Campbell, 2019).

La agricultura 5.0 se basa en la incorporación de inteligencia artificial en las actividades agrícolas, así como también la implementación de la robótica para generar datos que permitan que los agricultores y los asesores técnicos o extensionistas puedan tomar decisiones importantes con respecto a los procesos de producción, de la misma manera se ocupa para automatizar ciertos procesos que contribuyan a que la carga de trabajo física disminuya para el productor.

En este sentido es muy probable que las tecnologías y biotecnologías digitales de vanguardia concernientes a la Agricultura 5.0 desempeñen un papel importante en el futuro de la producción agrícola. Desde "tractores inteligentes" hasta "cultivos de diseño" (Fraser & Campbell, 2019), obteniendo una gran cantidad de conocimiento que impulse mejorar las prácticas agrícolas, permitiendo una producción más eficiente.

No obstante, es crucial reconocer la necesidad de transformar los métodos de producción alimentaria hacia una modalidad sostenible. Es decir, se debe cambiar el chip (la manera de hacer las cosas) hacia una forma de producción sostenible, ya que, como lo mencionan Fraser & Campbell (2019) los sistemas alimentarios y agrícolas actuales están afectando la salud del planeta.

Para que se establezca la migración a la Agricultura 5.0, esta debe tener en cuenta las siguientes características:

1. Producir más alimentos en menos tierra y con menos insumos.
2. Mejor educación y capacitación para los agricultores.
3. Abordar el desperdicio y la distribución de alimentos.
4. Combinar la ciencia y la tecnología con equidad social y sustentabilidad.

Los puntos anteriores son de las grandes cuestiones que se deben de tomar en cuenta para que la Agricultura 5.0 se desarrolle de manera exitosa en el sector agrícola, tanto en México como en el mundo.

2.6 Drones (Vehículos aéreos no tripulados)

Los drones son una oportunidad de desarrollo tecnológico con aplicaciones en diversas áreas del conocimiento (Acosta-Henríquez & Mendoza-Torres, 2017). Estas innovadoras herramientas están transformando la forma de interactuar con el mundo en campos tan diversos como la agricultura, cartografía, entretenimiento y vigilancia.

Para profundizar este subtema se debe tener claro que un dron también es conocido como vehículo aéreo no tripulado (VANT). Estos se manejan con control remoto parecido a una palanca de mando o a través de teléfonos inteligentes o tabletas, o mediante vuelos automatizados previamente programados. En ese sentido Ríos-Hernández (2021) señala que actualmente hay diferentes aplicaciones desarrolladas para los sistemas operativos iOS, Android y hasta Linux para pilotear un dron, sacar fotos y filmar.

En este contexto Gonzáles Herrera et al. (2019) proporcionan otra definición de dron, describiéndolo como un avión no tripulado, radio-controlado y recuperable. Este dispositivo existe en una gran variedad de características, formas y tamaños, en función del uso al que esté destinado.

En la investigación de (Pino, 2019) se menciona que los drones se pueden clasificar desde diferentes perspectivas: por el uso, por el tipo de control o por su forma.

De acuerdo con (Pino, 2019), en cuanto al uso se encuentran:

- a) Drones militares: Están equipados con armamento y capacidades de bombardeo. De igual manera se implementan para misiones de espionaje.
- b) Drones civiles: Son aquellos que no tienen propósitos militares. Entre ellos están drones de uso comercial (fotogrametría, multimedia); drones recreativos (hobby); drones de uso gubernamental (bomberos, equipos de rescate).

Por el tipo de control:

- a) Autónomo: Funciona de manera independiente sin requerir la intervención de un piloto humano. Se basa en sus propios sistemas y sensores integrados para el control.
- b) Monitorizado: Se requiere la presencia de un operador humano para controlar y monitorear el dron (Pino, 2019), como sucede en la tarea de fumigación con dron en la parte agrícola.

En cuanto a su configuración se clasifican en:

- a) Multirrotores: Estos son los más utilizados en la actualidad y están conformados por múltiples motores independientes situados en los extremos de la aeronave. Se clasifican según el número de motores.
- b) Helicóptero (Rotativo): Tiene una apariencia similar a la de un helicóptero, pero de menor tamaño. Estos dispositivos están equipados con un único motor principal.
- c) Ala fija : Este tipo de dron es similar a un aeroplano (Pino, 2019), necesita tener una pista para su despegue. A diferencia del dron rotativo, este no se puede compactar ni permanecer estático.

En el Cuadro 2 se muestran las características principales de los drones respecto a su forma.

Cuadro 2. Comparación de Tipos de drones por su forma

Ala fija	Rotativo
No puede permanecer estático	Estático
Necesita una pista para el despegue	Despegue y aterrizaje vertical
No se puede compactar	Se puede compactar
	Alta maniobrabilidad

Fuente: Elaboración propia con datos de Pino, 2019

2.6.1 Evolución de los drones

En la Figura 6 se muestra la línea del tiempo del surgimiento de los drones. En este sentido se tiene registros de que el primer vehículo aéreo no tripulado se vislumbró en el año 1917, utilizado por la Marina Real Británica (Losada, 2014).



Figura 6. Evolución de los drones

Fuente: Elaboración propia en base a Losada, 2014

De acuerdo con Losada (2014), la expansión de los drones se originó gracias a la utilización de estos en el área militar como se puede observar en la línea del tiempo anterior, donde en 1935 surge el DH.82NB que inspiraría el nombre dron. Posteriormente los drones se siguieron utilizando para actividades bélicas como

lo fueron el dron “mosquito 750” (1990) que tenía la capacidad de vigilar tierras enemigas y el dron “Depredador RQ-1” (2001).

Para actividades civiles, los primeros drones surgen en 2010 con la empresa Parrot que empieza a vender drones, después de esto emerge la competencia con la empresa DJI (de origen chino) la cual lanza su primera serie del Phantom en 2013.

A partir de los hechos históricos mencionados anteriormente, es evidente que la evolución de los drones ha sido acelerada en los últimos años, llegando incluso a formar parte de la vida civil y apoyo esencial en actividades primarias como lo es la agricultura.

2.6.2 Drones en la agricultura

Una de las razones por lo que vale la pena profundizar en el tema de los drones en el sector agropecuario es que hay estimaciones de que 80 a 90% del mercado de aparatos no tripulados en la próxima década se utilizará en la agricultura (Ríos-Hernández, 2021).

Dentro de las investigaciones realizadas al respecto Acosta-Henríquez & Mendoza-Torres (2017) mencionan que se analizó la implementación de drones dentro de la agricultura de precisión, con el fin de mejorar significativamente esta labor. Este mejoramiento se logra mediante la utilización de aplicaciones que permitan el monitoreo remoto y autónomo, la detección de estrés hídrico, tratamientos localizados de herbicidas, detección de estrés nutricional, conteo de plantas, así como la detección temprana de enfermedades y plagas.

Del mismo modo se señala que en la agricultura los drones son eficaces, sobre todo cuando hay terrenos donde es de difícil acceso para los tractores. Con los drones se puede fumigar con pesticidas, transportar productos fitosanitarios y minimizar la cantidad de químicos al asperjar que pueden ser tóxicos para las personas (Díaz, 2015).

En la agricultura, se han observado dos tipos de drones: i) los de ala fija, utilizados para monitoreo de suelos, enfermedades de las plantas, deficiencias nutricionales, calidad del agua, entre otros; y ii) los de fumigación, que sirven para asperjar herbicidas, fungicidas, fertilizantes foliares (Aranda , 2021).

En el Cuadro 3 se muestran las principales aplicaciones de los drones en la agricultura descritos por Acosta-Henríquez & Mendoza-Torres (2017) en su investigación, con el fin de detallar el panorama que se tiene al respecto.

Cuadro 3. Usos y beneficios de los drones en la agricultura

Aplicación	Usos	Beneficios
Monitoreo de cultivos	Consiste en el uso de cámaras de alta definición para tomar fotografías a los cultivos las cuales se sincronizan con GPS; quedan todas las fotografías geo posicionadas para la formación de mapas y posterior análisis en un software.	Permite con cámaras de alta definición y con información georreferenciada recorrer con exactitud los cultivos. El monitoreo puede realizarse de forma manual o se puede prefijar la ruta de monitoreo a través de un software para realizarlo de manera autónoma.
Detección de estrés hídrico en cultivos	Consiste en la detección de estrés hídrico (falta de riego) en las plantas, ayudado de una cámara térmica. Permiten estimar las necesidades hídricas de cada planta.	Permite utilizar de manera eficiente el agua, realizando un riego focalizado.
Detección de estrés nutricional en cultivos	Consiste en la detección de estrés nutricional en las plantas, estimando el estado vegetativo para determinar la aplicación de fertilizantes.	Permite la aplicación eficiente de fertilizantes, utilizándolo sólo en las zonas en las que es necesaria su aplicación.
Detección temprana de enfermedades y plagas	Consiste en detectar los cambios que se producen en los cultivos, permitiendo la detección de enfermedades.	Permite la detección temprana de cambios producidos en los cultivos, a través de imágenes multiespectrales, que ayudan a la detección de enfermedades, especialmente por hongos.
Conteo de plantas	Consiste en realizar el recuento de la totalidad de plantas. La forma tradicional de hacerlo es contar manualmente un área del campo y luego extrapolar los datos obtenidos a la totalidad de la plantación.	Permite hacer el recuento de la totalidad de las plantas en un tiempo muy corto.

Fuente: Acosta-Henríquez & Mendoza-Torres, 2017

Ahora bien, de manera particular los cultivos donde se han utilizado drones para actividades agrícolas se muestran en el Cuadro 4, desde cultivos perennes, anuales y plantaciones.

Cuadro 4. Aplicación de los drones en cultivos específicos

Tipo de cultivo		Aplicación de drones	Referencia
Cultivos anuales	Maíz-Sorgo	Detección de plagas, monitoreo del cultivo (altura), evaluación de salud del cultivo.	Oliveira et al., 2024 Gano et al., 2021
	Trigo	Aplicación precisa de agroquímicos, mapeo de campos, monitoreo de densidad.	Pranaswi et al., 2024
	Arroz	Detección de nutrientes, monitoreo del nivel de agua, detección de enfermedades.	Stavarakoudis et al., 2019 Kim et al., 2023
Cultivos perennes	Frutales	Detección de estrés hídrico, seguimiento del desarrollo de frutos, aplicación de agroquímicos.	Zhang et al., 2021
	Viñedos	Mapeo de viñedos, técnicas de segmentación de hileras y detección de características del cultivo, detección de enfermedades.	Sassu et al., 2021
Plantaciones	Palma de aceite	Monitorización de la plantación, calcular el número de plantas sanas y enfermas.	Charloq et al., 2023
	Caña de azúcar	Optimización de insumos, detección de áreas de bajo rendimiento.	Khuimphukhievo et al., 2023

Fuente: Elaboración propia,2024

Como se observa en el Cuadro 4, la aplicación de drones en el ámbito agrícola está creciendo en diversos cultivos alrededor del mundo, lo que puede ser un

referente para el uso potencial en México; debido a la gran diversidad de cultivos y condiciones climáticas del país. Destacando, por ejemplo, el uso de drones en Michoacán en el cultivo de aguacate, donde se busca monitorear la salud de los árboles y optimizar la cosecha (Taramuel-Taramuel, 2024); así como también para supervisar las grandes extensiones de cultivo en la caña de azúcar en el estado de Veracruz.

En cuanto a la aplicación de agroquímicos los drones se pueden utilizar en los cultivos a cielo abierto. Con esta información se visualiza que el uso de drones en la agricultura tendrá un incremento en los próximos años.

2.6.3 Aplicación de big data en los drones

IoT, *big data* e IA son palabras de moda en la industria tecnológica, que están teniendo un impacto sólo en tiempos muy recientes (Misra et al., 2022). El término de *big data*, se refiere a un conjunto herramientas, cuyo objetivo es procesar una gran cantidad de datos (Bronson & Knezevic, 2016), para convertirlos en información capaz de ser interpretada por el ser humano y a su vez contribuya con la toma de decisiones. En este caso, el *big data* se utiliza para un enfoque agrícola con el fin de coleccionar información y procesarla para hacer más eficiente el manejo de un cultivo, ganado, manejo forestal, entre otros.

De igual manera, el interés por el *big data* ha surgido en el sector agrícola, con el objeto de sumarse a las innovaciones tecnológicas que han nacido a nivel global, con el afán de tener mayor producción, rendimiento y utilidades en las actividades agrícolas.

Una forma de registrar esta gran cantidad de información (*big data*), es al ser recolectada por medio de drones; esos datos son posteriormente procesados en una computadora para la toma de decisiones. Bronson & Knezevic (2016) señalan que esta tecnología tiene implicaciones no sólo para los agricultores, sino también para las partes interesadas en todo el sistema agroalimentario.

Ahora bien, en el artículo de Osinga et al., (2022) se señala que se han desarrollado varias aplicaciones nuevas de macrodatos e inteligencia artificial para el dominio agrícola en todo el mundo (Lezoche et al., 2020). Estos desarrollos están estrechamente vinculados con la evolución de los drones, los cuales están haciendo un estupendo papel en la agricultura moderna, proporcionando datos precisos e información que contribuye a tomar decisiones más acertadas en el manejo del cultivo.

3. MARCO REFERENCIAL

La población mundial está creciendo a un ritmo acelerado. En las próximas décadas se espera que crezca un 33 por ciento, a casi 10 000 millones para 2050, frente a los 7 600 millones (a octubre de 2017). Para el año 2100, la población mundial se espera que alcance los 11,200 millones. Esa cifra puede subestimar las tasas de fertilidad reales; en otros escenarios, la población podría alcanzar los 16,500 millones (De Clercq et al., 2018). Estas cifras se deben tener en cuenta, ya que son la clave para buscar métodos de producción de alimentos que sean más eficaces para lograr el abastecimiento que se demandará en un futuro. Es aquí donde surge el interés por la implementación de la agricultura digital con un enfoque sostenible.

En este sentido, en la Figura 7 se representan las tecnologías que se están desarrollando con una orientación sostenible dentro del marco de la Agricultura 4.0 y 5.0, ya que lo que se busca actualmente es utilizar nuevas tecnologías que contribuyan a aumentar la eficiencia de la cadena alimentaria, así como el incremento en la producción agrícola.

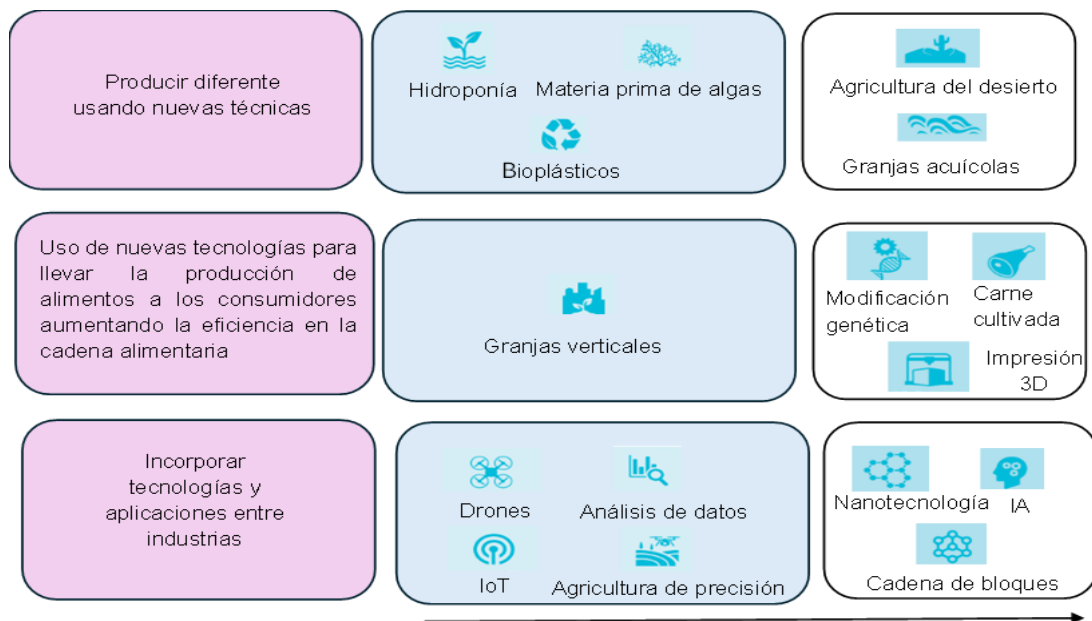


Figura 7. Tecnologías con enfoque sostenible.

Fuente: De Clerq et al., 2018

Entrando en materia de los drones, en el informe de Nairí (2022), se aborda la segmentación del mercado de los drones por sus usos para el año 2022, lo cual se muestra en la Figura 8. Cabe destacar que estas cifras señalan que el 59.4% de los drones seguirá siendo de uso militar, mientras que el segmento comercial representa un 21.9% y el uso civil 18.8%; el uso civil se asocia con fines de entretenimiento e investigación.

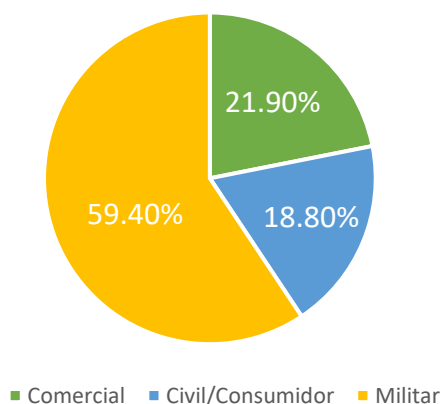


Figura 8. Segmentación del mercado de drones (2022)

Fuente: Nairí, 2022

Ahora bien, enfocando el desarrollo del tema a la tecnología dron, según la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) como se muestra en la Figura 9 hasta febrero de 2018, el uso de drones se enfocaba en actividades de entretenimiento como fotografía y filmación, pero poco a poco se ha ido aumentando la utilización de drones para cuestiones agrícolas.



Figura 9. Resumen de actividades realizadas por los operadores de drones.

Fuente: AESA, 2018

3.1 Principales empresas y marcas de drones

En el documento difundido por el ministerio de desarrollo productivo de Argentina, la autora Nairí (2022) elabora una tabla en donde se muestran las empresas líderes del mercado estadounidense de drones (Cuadro 5), donde se observa claramente que DJI es la empresa dueña del mercado civil con un 76.1%, seguido de las empresas Intel , Yuneec y Parrot.

Cuadro 5. Empresas líderes de drones en el mercado estadounidense

Empresa	Ubicación de casa matriz	Año de fundación	Participación de mercado (%)
DJI	Shenzen, China	2006	76.10
Intel	Santa Clara, Estados Unidos	1968	4.10
Yuneec	Hong Kong, China	1999	2.60
Parrot	Paris, Francia	1994	2.50
3DRobotics	Berkeley, Estados Unidos	2009	0.60
Autel	Bothell, Estados Unidos	2014	0.60
Skydio	Redwood City, Estados Unidos	2014	0.30
SenseFly	Lausanne, Suiza	2009	0.20
Kespry	Menlo Park, Estados Unidos	2013	0.10
AeroVironment	Simi Valley, Estados Unidos	1971	0.10

Fuente: Nairí, 2022

En el ámbito agrícola, las principales empresas y marcas que comercializan los drones se visualizan en la Figura 10. En primer lugar se encuentra DJI, seguida en menor medida por Parrot y XAG. Estas empresas representan un papel fundamental en el suministro de tecnología de drones para el sector agropecuario, ofreciendo una amplia gama de productos.

**Parrot****Figura 10.** Marcas que comercializan drones en el sector agrícola

Fuente: Páginas oficiales DJI, Parrot y XAG, 2023

3.2 Regulaciones de los drones

Según la publicación de Nairí(2022), las regulaciones con respecto a los drones son diferentes en los diversos países del mundo, por lo que expone un mapa en la Figura 11 donde muestra el grado de la restricción de cada uno de estos, desde prohibición total como lo es el caso de unos cuantos países africanos, hasta el grado de sin legislación relacionada con los drones. En esta última situación se encuentran países africanos, asiáticos y centroamericanos.

En este marco, otros países como Estados Unidos, Canadá, Australia, así como la Unión Europea (Figura 11), son más accesibles con el uso de drones con fines comerciales, donde es permitido el uso de drones fuera de la línea de visión; esto quiere decir que no intervenga con las normas aeronáuticas correspondientes.

En el caso de América Latina, de igual manera las leyes que conciernen al uso de drones tienen una alta variabilidad por región (Nairí, 2022), donde Nicaragua y Cuba tiene restricción total , mientras que México, Brasil y Argentina requieren líneas de visión.

En México la regulación sobre operación de drones la expide la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). La primera Circular Obligatoria fue emitida en 2010 bajo la designación AV-23/10. No obstante, la normativa para la operación de drones, se instauró en 2015 con la Circular Obligatoria AV-23/10 R2 (Vargas-Ramírez & Paneque-Gálvez, 2020).

Actualmente México se rige por la Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019, publicada por el Diario Oficial de la Federación (DOF) en donde hace referencia a “los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia en el espacio aéreo mexicano”. Las instituciones que participaron en la elaboración de dicha norma fueron principalmente la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la Dirección General de Aeronáutica Civil y Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano.

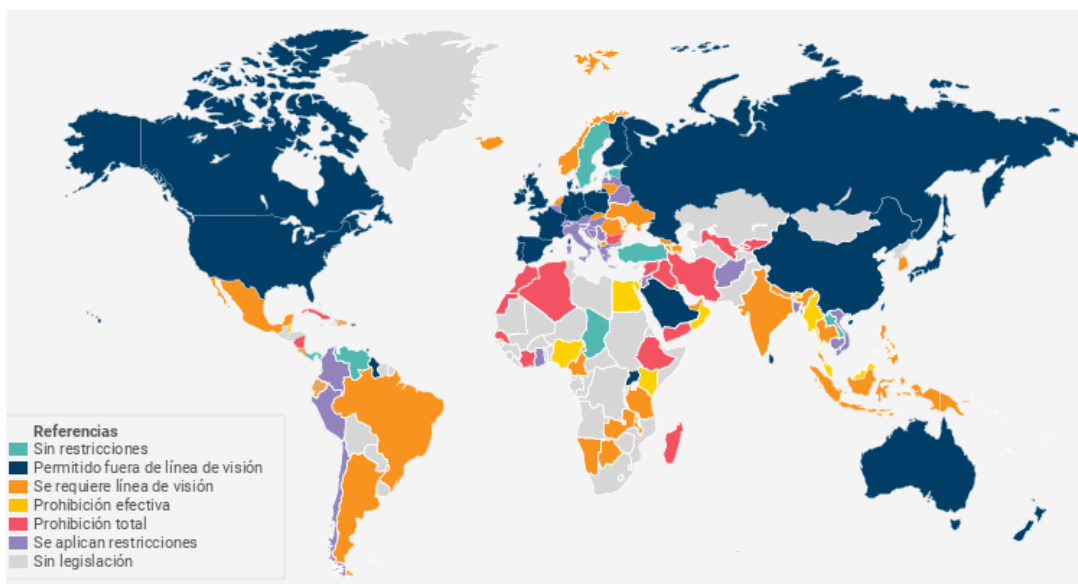


Figura 11. Regulaciones de los drones en el mundo

Fuente: Nairí, 2022

3.3 Drones en el sector agrícola en México

La utilización de drones en el ámbito comercial, según datos de Nairí (2022), se divide en construcción con un 49.9%, agricultura 26.4%, seguridad 10.3%, energía 5% y otras aplicaciones con un 8.5% (Figura 12). Con estas cifras en mente, la parte en la que se enfocará este marco referencial es en la agricultura.

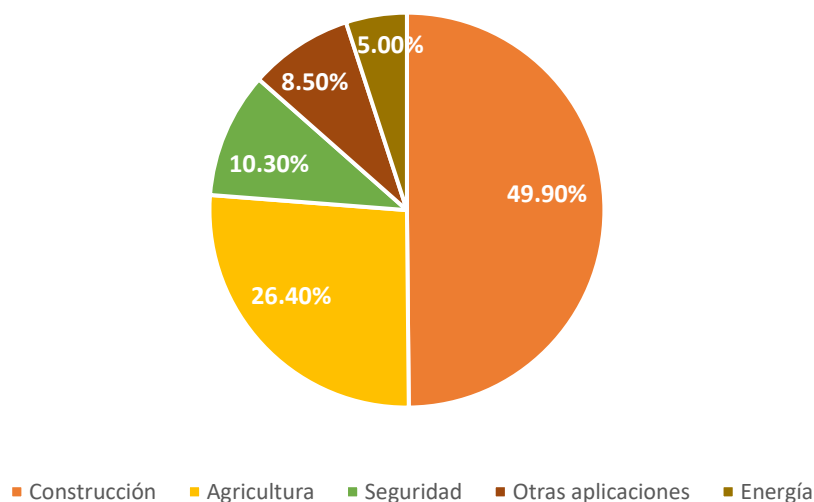


Figura 12. Segmentación de mercado según función

Fuente: Nairí, 2022

Ahora bien, una de las ventajas más notorias de la implantación de drones en la agricultura es que si nos situamos en el México actual se puede notar su basta orografía, diversos paisajes, así como, climas que permiten o restringen realizar distintos tipos de actividades agrícolas. Con el uso de drones se facilitan las labores antes mencionadas para diferentes zonas geográficas y climáticas, que traen consecuencias tanto económicas como sociales, al poder realizar actividades que son complicadas o desgastan mucho a la mano de obra mexicana, así como también representa reducción de costos al detectar a tiempo plagas y/o enfermedades del cultivo.

Según Ojeda-Bustamante et al., (2017), los drones están en pleno desarrollo y su aplicación en la agricultura es cada vez más común, no sólo para la adquisición de imágenes sino también para análisis más robustos de información geoespacial. A esto se debe sumar su gran utilidad para aplicar pesticidas.

Por otro lado, con el fin de difundir los beneficios del uso de drones en la agricultura, la FAO presentó una serie de publicaciones tituladas “*E-agriculture in action*”, que destacan el uso de la tecnología, como los drones, en la agricultura. Cuyo objetivo final es promover soluciones tecnológicas exitosas, escalables, sostenibles y replicables para la agricultura (Sylvester, 2018). El dron es una tecnología que permite múltiples usos en diversos sectores.

Según Ríos-Hernández (2021), una de las principales funciones de los drones radica en el monitoreo de las parcelas agrícolas. Esto implica que el dron captura imágenes obteniendo datos que posteriormente se procesan con un software que arroja información relevante. Además, los drones tienen la capacidad de aplicar pesticidas de manera “inteligente”, con la información recopilada a través de sensores y cámaras que vienen integradas en el dron.

Del mismo modo se resalta que los productores que utilizan drones pueden obtener múltiples beneficios como aplicar pesticidas, fertilizar y sembrar, así como también observar la producción y las cosechas de cultivos. Para las granjas ganaderas, los drones también se pueden usar para monitorear animales y

recopilar rápidamente datos útiles sobre la salud animal y la población (Ren et al., 2020).

Ahora bien, una de las problemáticas que enfrenta México en el uso de drones es el alto costo inicial (Ojeda-Bustamante et al., 2017), lo que ocasiona que muchos productores no puedan acceder a dicha tecnología.

3.4 Crecimiento de la digitalización agrícola en México

Por otro lado, en el contexto de la agricultura 4.0 y 5.0, es trascendental comprender el concepto de digitalización, el cual según el manual de Oslo del 2018, implica la aplicación de tecnologías digitales a una amplia gama de tareas existentes y permite realizar nuevas tareas. En este sentido, la digitalización tiene un papel importante en el sector rural, donde la implementación de tecnologías como los drones agrícolas permite de transformar los procesos comerciales, la economía y la sociedad en general (OECD/Eurostat, 2018), mejorando la eficiencia y productividad en la agricultura.

Como datos generales de la digitalización en México, en el Cuadro 6, se muestra el uso promedio nacional de las tecnologías que son compatibles para el desarrollo de infraestructura sostenible en el sector agropecuario. De la misma forma se observa que el uso de teléfono celular es lo que más predomina, con un 88.13% en promedio.

Cuadro 6. Promedio Nacional de uso de las tecnologías informáticas y de comunicación en el sector agrícola

Tecnología	Promedio Nacional (%)
TIC	37.69
Computadora	5.57
Internet	7.88
Teléfono	88.13

Fuente: INEGI,2021; ENA, 2019

La información del Cuadro 6, así como la representación gráfica de la Figura 13 es relevante, ya que la implementación de drones está relacionada con el acceso a tecnologías digitales como teléfonos celulares, computadora e Internet. Asimismo, se vincula con el uso de *big data* e Inteligencia Artificial para la recopilación de datos. Sin embargo, actualmente los drones en México se están ocupando para un uso más rudimentario, como la aplicación de pesticidas, dejando de lado el análisis de datos recolectado por el dron para la toma de decisiones.



Figura 13. Promedio Nacional del uso de las TIC en el sector agrícola en México.

Fuente elaboración propia con datos de Vargas-Canales, 2022

Profundizando en el contexto mexicano, en la investigación realizada por Vargas-Canales (2022) se indagó en el tema de unidades de producción con uso de tecnologías informáticas y de comunicación en las actividades agropecuarias en México. En este sentido, en la Figura 14 se observa las unidades de producción con uso de teléfono celular en las actividades agropecuarias en México, de los cuales los estados de Yucatán, Chihuahua y Tamaulipas son los que tienen mejor acceso a esta tecnología con más del 80% de uso.

La información que se revela en el gráfico de la Figura 14, deja a la vista que la mayoría de los productores en los estados de la república mexicana cuentan con

un teléfono celular. Es aquí donde se da la oportunidad de que los drones agrícolas se integren con sistemas informáticos para optimizar la gestión de cultivos y aumentar la eficiencia de las actividades agropecuarias.

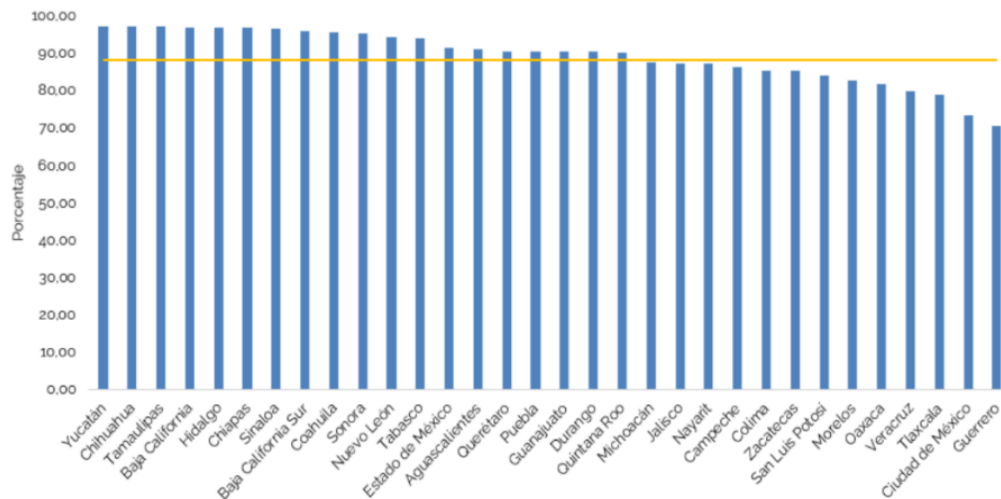


Figura 14. Unidades de producción con uso de teléfono celular en las actividades agropecuarias en México.

Fuente: Vargas-Canales,2022

Con este marco referencial y los temas abordados, se da un panorama general de cómo se encuentra la tecnología dron y la digitalización en el sector agrícola, haciendo especial énfasis en México.

4. METODOLOGÍA

En este apartado se puntualiza la metodología empleada para responder las preguntas de investigación planteadas y por consiguiente los resultados. En primera instancia i) se determinó la población sujeta de estudio, así como también la definición del espacio geográfico y temporal de la investigación, posteriormente ii) se realizó un análisis bibliométrico, usos y perspectivas de los drones en la agricultura, consecuentemente iii) se elaboraron las redes de valor de los modelos de negocio de las empresas de drones en la agricultura, y finalmente iv) se hizo el análisis del modelo CANVAS.

En el Apéndice 1 se muestra la matriz de congruencia de este trabajo de investigación, donde se visualiza la secuencia que se siguió para la realización del estudio. Esta matriz facilitó la definición de las variables pertinentes para cada una de las preguntas de la presente investigación.

4.1 Población sujeta de estudio

La presente investigación utiliza métodos tanto cualitativos como cuantitativos. Esencialmente la recolección de la información se llevó a cabo en diversas empresas dedicadas a vender y arrendar el servicio de drones para diferentes aplicaciones agrícolas. Además, se realizaron entrevistas con diversos actores pertenecientes a la quíntuple hélice, que engloba a la sociedad, la academia, el gobierno, las empresas y medios de comunicación (Carayannis et al., 2012).

4.1.2 Definición de espacio geográfico y temporal de la investigación

La colecta de datos se realizó de mayo-agosto del 2023, en diversas entidades de la república mexicana entre las que destacan el Estado de México, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Sinaloa.

Los estados que se seleccionaron en la Figura 15 tienen la característica que manejan grandes producciones de granos entre los que destacan maíz grano, frijol y sorgo a cielo abierto, de una producción de 34.6 millones de toneladas los estados de pacífico producen 45.6%, del norte 27% y centro 13.4% (INEGI, 2022) lo que los convierte en candidatos ideales para la adopción de drones en sus

operaciones de fumigación. Además de que fueron los estados donde las empresas abrieron sus puertas para realizar la investigación.



Figura 15. Estados donde se realizó la colecta de datos

Fuente: Elaboración propia con el programa Microsoft Excel

4.1.3 Fuentes de información

La información recabada se obtuvo a partir de fuentes primarias (Cuadro 7). Los principales sujetos de estudio fueron empresas especializadas en la venta y/o renta de drones, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico dirigido, ya que no se tiene el dato exacto de la población total de empresas de drones que existen en México, esto debido a la novedad de estas empresas que están incursionando en el manejo de drones en actividades agrícolas, por lo que no se ha registrado, ni cuantificado el número total de éstas.

Cuadro 7. Fuentes de información

Sujeto de estudio	Fuentes de información	Fecha de colecta	Instrumento de colecta
Empresas	10 empresas	Mayo-agosto 2023	Entrevista y encuesta semiestructurada
Académicos	5 profesores	Mayo-agosto 2023	Entrevista
Productores	12 productores	Mayo-agosto 2023	Entrevista
Público inscrito en un curso sobre drones	51 personas	Mayo-agosto 2023	Encuesta con ítem en escalas Likert
Funcionario	1 doctor	Junio 2023	Entrevista telefónica

Fuente: Elaboración propia

4.2 Metodología para el análisis bibliométrico, usos y perspectivas de los drones en la agricultura

Con el propósito de llevar a cabo un análisis bibliométrico de los modelos de negocio de las empresas de drones en la agricultura, se elaboró una exhaustiva búsqueda en diferentes bases de datos científicas, incluyendo Web of Science, Scopus y Google Scholar. Para la selección de trabajos relevantes, se utilizaron palabras claves pertinentes como "drones", "agricultura", "adopción tecnológica" y "modelo de negocio." Este enfoque garantiza la recopilación de una amplia variedad de información científica para enriquecer el análisis de los modelos de negocio de drones en la agricultura.

Para representar gráficamente esta búsqueda, se empleó el programa de VOSviewer versión 1.6.15 ocupando la información de Scopus.

4.2.1 Métodos e instrumentos de colecta

Para esta sección se utilizaron dos instrumentos de colecta. El primero, detallado en el Apéndice 2, consistió en entrevista semiestructuradas con 10 empresas, 12 agricultores y 6 académicos con los que se tuvo contacto en el ámbito de los

drones. El objetivo de este instrumento fue conocer a profundidad la red de actores clave que ocupan drones para actividades agrícolas.

Posteriormente, el instrumento tres, mostrado en el Apéndice 4 fue una encuesta en línea con escala tipo Likert, contestada por 51 actores como funcionarios, académicos, pilotos de drones, empresarios y agricultores interesados en el ámbito de la tecnología dron. Este estudio, no es significativo estadísticamente, ya que se tomó en cuenta solo a las personas que respondieron la encuesta de manera voluntaria en un grupo de WhatsApp, donde se encontraban interesados en el tema, entre ellos se destacan los vendedores de agroinsumos, productores agrícolas y estudiantes. En este instrumento se buscó destacar la percepción sobre la efectividad y relevancia de los diferentes modelos de negocio de empresas de drones en el sector agrícola en México.

En la encuesta con escala Likert realizada a través de Google Forms, se obtuvieron 51 respuestas. Esta encuesta hizo hincapié en los desafíos y perspectivas, donde se consideró el estado actual del negocio de los drones en la agricultura. Al instrumento de colecta se le aplicaron pruebas de confiabilidad de Alfa de Cronbach y pruebas de normalidad de Kolmogórov-Smirnov.

Para la colecta de información antes mencionada, se contó con diversos recursos, en este sentido, se destaca el respaldo económico proporcionado por la Universidad Autónoma Chapingo, la beca CONAHCYT y recursos propios.

4.2.2 Métodos de análisis

Durante esta investigación, se adoptó un enfoque mixto. Ahora bien, desde una perspectiva cualitativa se hizo una investigación exploratoria mediante entrevistas a empresarios, académicos, productores y agentes de gobierno. Con el fin de conocer sus experiencias con respecto al concepto de Agricultura 4.0 y 5.0, enfocado principalmente a los drones en la agricultura; así como también se elaboró un comparativo con datos aproximados proporcionados por un experto en drones entre el costo de fumigación con dron y una pulverizadora, se modela este ejercicio para fines ilustrativos.

Posteriormente en el enfoque cuantitativo se usaron técnicas de recolección de datos estadísticos. Dentro de este marco, se realizó una encuesta con escalas tipo Likert que fue aplicada a 51 personas mediante un formulario en línea; con 11 ítems en total; con una escala de 1 a 5, teniendo el valor de 1 el enunciado de totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo; se dirigió a personas que cuentan con conocimientos en cuanto al uso de drones y diagnóstico satelital. Se aplicaron métodos estadísticos para el análisis de la información obtenida, como la prueba, Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia de $\alpha < 0.05$, la prueba de confiabilidad de alfa de Cronbach y correlaciones con tau b de Kendall entre variables mediante el índice construido de modelos de negocios con una significancia de $\alpha < 0.01$. Para el análisis de la escala tipo Likert las regiones de donde se obtuvo la información se dividieron en: Bajío-Norte y Centro-Sur.

La sistematización de las variables de edad, escolaridad, ocupación, años de experiencia manejando drones, región, nombre de la empresa, se llevó a cabo en una base de datos en Excel; los análisis se realizaron en esta herramienta, así como también con el apoyo del programa estadístico SPSS en la versión 24.0. En cuanto a las variables cuantitativas el análisis se centró en las escalas tipo Likert, con lo cual se realizaron correlaciones entre los ítems que se contemplan en el índice de modelos de negocios de empresas de drones y el índice de accesibilidad a la tecnología dron. Se aplicó la prueba de fiabilidad de los datos de Alfa de Cronbach a través del programa SPSS. El resultado obtenido dio un coeficiente de 0.893, lo que indica que el instrumento aplicado es aceptable, es decir que los ítems del instrumento son consistentes.

De igual manera, con base en el índice de Adopción de Innovaciones que formula Muñoz-Rodríguez et al. (2007), se propuso la construcción de dos índices relacionado con los modelos de negocio de drones en la agricultura; el Índice de Modelo de Negocios y el índice de accesibilidad a la tecnología dron. El primer índice mide qué tan de acuerdo se encuentran los individuos respecto a los modelos de negocio de empresas de drones en la agricultura actualmente. Mientras que el segundo índice cuantifica la perspectiva que tiene cierto individuo

con respecto a qué se pueda acceder a la tecnología dron en México para todo tipo de productores pequeños, grandes y medianos. Los valores se evalúan de 0 a 1; siendo lo más cercano a uno que se tiene mayor aprobación en los modelos de negocio de empresas de drones en la Agricultura.

El Índice de Modelo de Negocios de Drones Agrícolas (IMNDA) se calcula de la siguiente manera:

$$InMNDA = \frac{\sum_{j=1}^n IMNDA_j}{n}$$

Donde:

IMNDA=Ítems de Modelos de Negocios de Drones Agrícolas en la j-ésima categoría

n=Número total de individuos encuestados

Lo que representa este índice es que a mayor IMNDA (Índice de Modelos de Negocio de Drones Agrícolas) será mayor la aceptación de los modelos de negocio de drones en la agricultura. Se tomaron en consideración los rubros de competencia, recopilación y análisis de datos, proveedores, capacitación para el uso de drones y servicios de monitoreo. En este sentido a mayor adopción de estos ítems, mayor será el IMNDA.

El cálculo del Índice de Accesibilidad a la Tecnología Dron (IATD) se realiza con la siguiente formula:

$$InATD = \frac{\sum_{j=1}^n IATD_j}{n}$$

Dónde:

IATD=Ítems de Accesibilidad a Tecnología dron en la j-ésima categoría

N=Número total de individuos encuestados

Este índice representa que a mayor valor el individuo tiene una mejor perspectiva con respecto a la accesibilidad de la tecnología dron en México para todo tipo de productores pequeños, grandes y medianos.

4.3 Metodología para las redes de valor de los modelos de negocio de las empresas de drones

Se contó con la participación de académicos con experiencia en el uso de drones en México o herramientas pertenecientes a la Agricultura 4.0. Su contribución fue de suma importancia para conocer su perspectiva de esta tecnología en el agro mexicano.

4.3.1 Métodos e instrumentos de colecta

El segundo instrumento, mostrado en el apéndice 3, se realizó específicamente a las 10 empresas objeto de estudio para analizar sus modelos de negocio, estas fueron elegidas por conveniencia, ya que se tenían los contactos directos con dichas empresas y debido a que es una investigación exploratoria. El propósito de este instrumento de colecta de información fue construir la red de valor de los modelos de negocio que ocupan drones para actividades agrícolas.

La descripción de las empresas entrevistadas que se muestran en la Figura 16 principalmente se basaron en la caracterización de las variables: años de experiencia en la empresa, región, nombre de la empresa, edad y escolaridad. La selección de las empresas se hizo a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia.

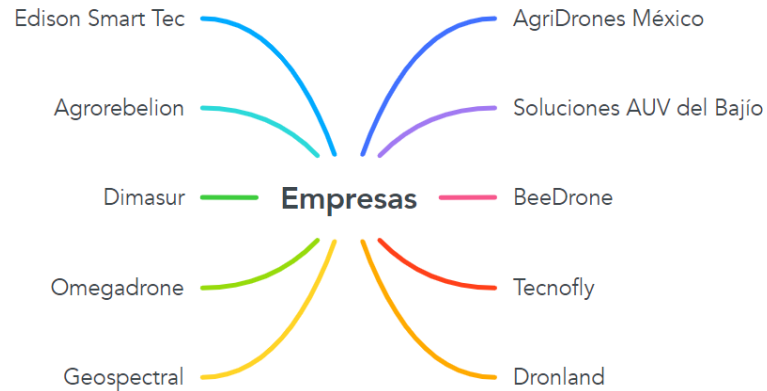


Figura 16. Empresas entrevistadas en la fase de campo

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Métodos de análisis

Se establecieron contactos con expertos en la materia, incluyendo pilotos de drones, empresarios y académicos, los cuales tienen experiencia y están vinculados con el tema de interés. La interacción se hizo con base en el uso de redes sociales entre ellas WhatsApp e Instagram, correo y por llamada telefónica.

En cuanto al soporte institucional, se llevaron identificaciones y cartas de presentación en donde se hizo hincapié que este trabajo de investigación pertenece a la Universidad Autónoma Chapingo. Del mismo modo se llevaron cartas de respaldo que detallaban los objetivos de la investigación y garantizaban que la información proporcionada es de carácter 100% confidencial.

Los registros de observaciones y puntos de vista de los participantes fueron analizados e interpretados utilizando herramientas como la red de valor y modelo de negocios denominado Lienzo CANVAS.

Las bases para la construcción de las redes de valor se describen en el Cuadro 8. Del mismo modo, para la elaboración del modelo de negocio se ocupó el llamado Lienzo CANVAS, donde se hace alusión a asociaciones clave, actividades clave, recursos clave, segmento de mercado, canales de

comercialización, relación con clientes, propuesta de valor, fuentes de ingresos y estructura de costos.

Cuadro 8. Preguntas para conformar la red de valor de las empresas de drones

Componente	Pregunta
Proveedor	¿A quién le compra los drones?
Competidor	¿A quién considera como su principal competidor?
Cliente	¿A quién le vende los drones o servicios principalmente?
Complementador	¿De quién obtiene conocimientos para el desarrollo de la actividad?

Fuente: Elaboración propia

La estratificación de las redes de valor por el modelo de negocio observado en la recolección de datos en campo se hizo de manera cualitativa. Esto se debió a las diferencias características entre cada uno de los modelos de negocio analizados.

4.4 Metodología para el análisis del modelo CANVAS para empresas de drones Agrícolas

Se realizó una entrevista con un enfoque cualitativo a un muestreo dirigido, donde el principal objetivo fue obtener la caracterización del modelo de negocio que se maneja en el ámbito de los drones.

4.4.1 Métodos e instrumentos de colecta

En este apartado se ocuparon los instrumentos de colecta que se muestran en el Apéndice 2, donde se realizó una entrevista semiestructurada a las 10 empresas sujetas de estudio, en donde se preguntó principalmente los años y la experiencia que llevan en el sector de los drones para fines agrícolas.

De igual manera se ocupó el Apéndice 3 donde se hizo mayor alusión a los servicios que ofrecen, sus canales, formas de distribución de sus productos y los actores con lo que interactúan para lograr su fin.

4.4.2 Métodos de análisis

Para el análisis de la información, se construyó una base de datos en Excel con la información que proporcionaron las entrevistas seleccionadas, y se construyó el modelo CANVAS propuesto por Osterwalder & Pigneur (2011) para los cuatro modelos de negocio identificados.

Posteriormente, el criterio que se ocupó para una semaforización de los modelos de negocio de empresas de drones fue mediante la información proporcionada por las 10 empresas entrevistadas en relación con sus asociaciones, actividades y canales. Se consideró que un nivel era alto cuando se hacían más de 10 menciones, moderado mayor o igual a 5 y bajo cuando era menor a 5 referidos.

Asimismo, se estableció un indicador por región de la aceptación de cada uno de los modelos de negocio descritos en esta investigación, los cuales son: distribuidor DJI, fumigación (maquila del servicio mediante drones), reparación y mantenimiento así como también el modelo Integral. Esta evaluación se estableció mediante las regiones Bajío-Norte y la región Centro-Sur.

De la misma manera, se realizó una descripción cualitativa de los casos de éxito de las empresas de drones en la agricultura, así como también los retos que enfrentan estas empresas en México.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en esta investigación se detallan en los siguientes apartados, cada uno de acuerdo con las preguntas de investigación y los objetivos planteados. El primer apartado es respecto a los usos que se les da a los drones en la agricultura en México, así como también la percepción que tienen diversos usuarios sobre los drones en la agricultura 4.0 y 5.0. En el segundo apartado se hace una descripción de las redes de valor usando la teoría de Porter (1985) sobre los modelos de negocio que se implementan en el ámbito de los drones agrícolas.

En el tercer apartado usando la metodología de Osterwalder & Pigneur (2011) se identifican, mediante el análisis de modelos de negocio, algunos elementos que influyen en el desempeño de las empresas dedicadas a la venta y/o renta de drones agrícolas, así como también se hace énfasis en sus ventajas competitivas.

Finalmente en el cuarto apartado se hace referencia a los rubros a considerar para el planteamiento de estrategias que pueden implementar las empresas con el fin de que la tecnología dron para actividades de índole agrícola se difunda y mayormente usada en México.

5.1 Análisis bibliométrico, usos, aplicaciones y perspectivas de los drones en la Agricultura.

5.1.1 Análisis bibliométrico

Durante el análisis bibliométrico se destaca la presencia de un número limitado de estudios específicamente dedicados a los modelos de negocio de las empresas de drones en la agricultura, en comparación con la abundancia de investigaciones centrada en los aspectos técnicos. En este aspecto se evidencia un aumento en la producción de artículos relacionados con el uso de drones en la agricultura en años recientes como se visualiza en la Figura 17, desde el año 2016 al 2023 se dispara el número de publicaciones relacionadas con los drones en la agricultura. Un ejemplo de esta tendencia se refleja en Scopus, Google

Scholar y Web of Science, donde se han publicado alrededor de 2,000 artículos desde el año 2010, con un incremento notable en los últimos años (Figura 17).

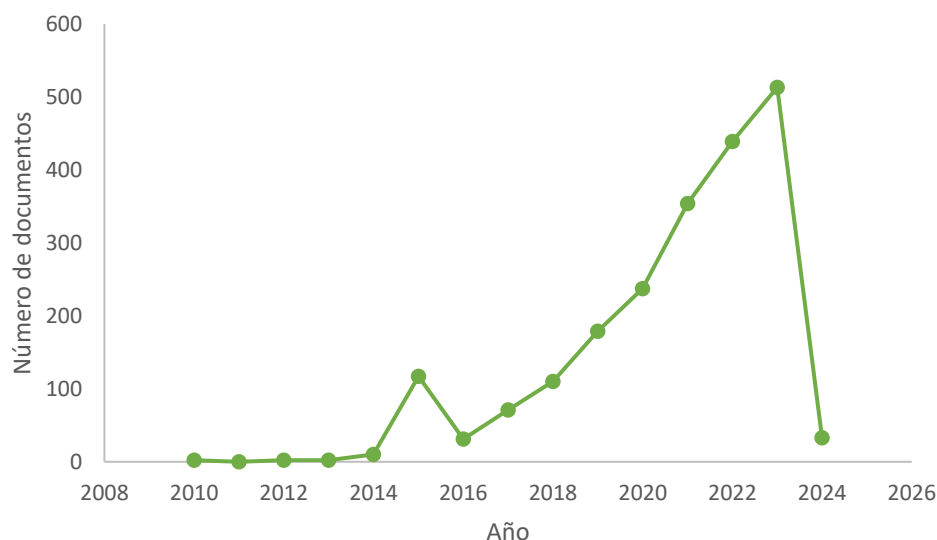


Figura 17. Documentos publicados por año con relación a los drones en la Agricultura

Fuente: Análisis bibliométrico con documentos de Scopus, marzo 2024

En la revisión de literatura centrada en los modelos de negocios de drones en la agricultura, se ha encontrado que los estudios existentes sugieren una clasificación predominante en dos categorías fundamentales: servicios de mapeo y colecta de datos para su análisis, así como también la comercialización de hardware y software como parte de la infraestructura necesaria para el procesamiento y análisis de imágenes captadas por los diferentes sensores de los drones.

En lo que respecta a la distribución geográfica de las publicaciones, la mayoría de los estudios se han centrado en China, Estados Unidos y Europa. Los autores principales que tienen publicados artículos de drones en la Agricultura provienen de China; entre ellos se encuentran Ian, Y., Wang, L. y Zhang, Y. La Figura 18 presenta visualmente los principales autores que abordan el tema de investigación, utilizando las palabras clave “drones” y “agricultura”.

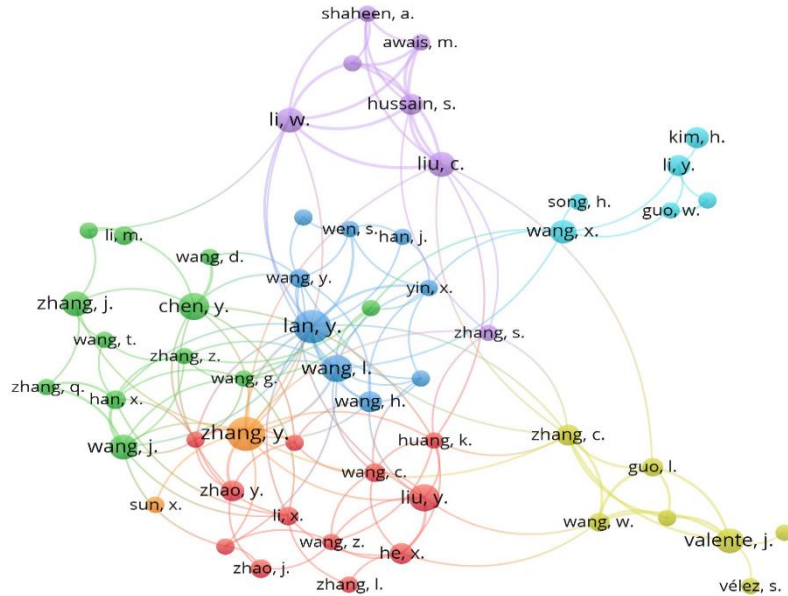


Figura 18. Principales autores con publicaciones usando como palabras clave "drone" y "agriculture"

Fuente: Elaboración propia con el buscador Scopus programa: VOSviewer versión 1.6.15

En la Figura 18 se muestra una red de colaboración entre autores de publicaciones científicas en el tema de drones en la agricultura. Cada autor está representado por un nodo, entre más grande es el nodo, significa que tiene mayor número de documentos publicados. Cada color representa la colaboración e interconexión entre los autores, por ejemplo en el color azul los autores lan, y Wang tienen una comunidad colaborativa muy fuerte. Los clústeres más alejados son el morado y amarillo lo que indica que sus temas de estudio y colaboración no se relacionan tanto a comparación de los demás.

Por otro lado, en cuanto a las áreas de investigación, se han publicado estudios que exploran la rentabilidad de los modelos de negocio de las empresas de drones en la agricultura. Además, se han examinado los factores que inciden en la adopción de los drones por parte de los agricultores, así como los desafíos regulatorios y éticos vinculados al empleo de estas tecnologías en la agricultura.

En términos de palabras clave más utilizadas en los artículos concernientes a estos temas, se destacan "drones", "agricultura", "vehículos aéreos no tripulados", "internet de las cosas", "uav" y "teledetección" (Figura 19).

La Figura 19 es una red elaborada con Scopus que visualiza las interrelaciones entre varios conceptos en el contexto de los drones y la agricultura digital. Los principales nodos son agricultura, drones, vehículos aéreos no tripulados y sensores remotos. Estos nodos destacan el papel crucial que tienen en la agricultura de precisión.

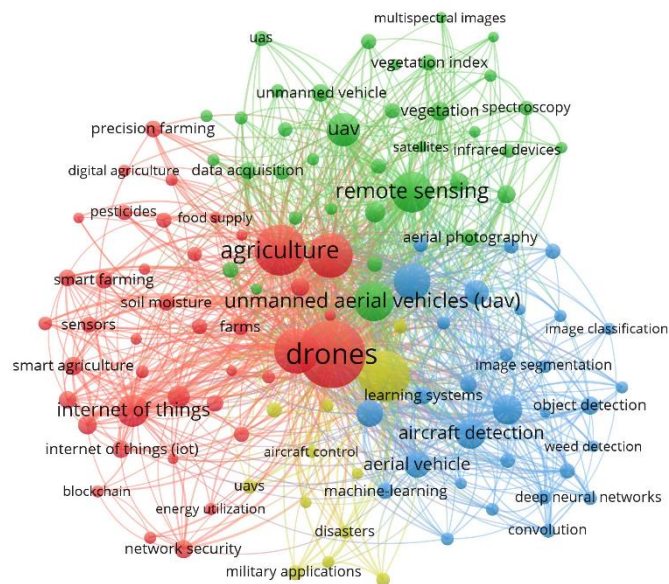


Figura 19. Palabras clave más utilizadas en artículos científicos

Fuente: Elaboración propia con el programa: VOSviewer versión 1.6.15

Dentro de la Figura 19, se observan cuatro colores principales: el rojo nos indica una fuerte conexión entre el uso de drones en la agricultura; los conceptos que pertenecen al color verde se relacionan con sensores remotos y su uso en la recolección de datos agrícolas; el color azul señala las palabras asociadas con la detección y procesamiento de imágenes, mientras que el color amarillo se

vincula con las tecnologías en la detección y control de drones para uso militar y desastres naturales.

Conforme a la Figura 19, se puede observar que no se menciona explícitamente la aplicación de agroquímicos en las palabras clave, esto se debe a que viene inmerso en el término de agricultura de precisión; así como también que los estudios están focalizados en otros sectores relacionadas con imágenes multiespectrales, sensores, entre otros enfocado más en aspectos técnicos de los drones.

5.1.2 Usos y aplicaciones de los drones en la Agricultura

Con base en la literatura consultada en los diferentes repositorios como Google Scholar, Web of Science y Scopus, a la visita de las 10 empresas entrevistadas, así como también con la interacción con agricultores, académicos, pilotos de drones y usuarios se señalan en el Cuadro 9 los principales usos que se les está dando a los vehículos aéreos no tripulados mejor conocidos como drones en México que se encuentran inmersos dentro de la Agricultura 4.0.

Cuadro 9. Usos de los drones en Agricultura en México

Usos	Descripción
Aplicación de agroquímicos	Los drones distribuyen fertilizantes, plaguicidas y pesticidas de manera precisa en los cultivos, mejorando la eficiencia en la aplicación. Se reporta reducción de desperdicio y costos. Drones utilizados: Agras T10, Agras T20, Agras T30, Agras T40
Mapeo y cartografía	Se están utilizando los drones para la generación de mapas de elevación y topografía, lo que contribuye principalmente a la planificación del riego. Drones utilizados: Mavick 3, Phantom
Recolección de datos para	Se generan reportes del estado de los cultivos en cuanto a las condiciones de la vegetación (NDVI), condiciones de suelo y

Agricultura de precisión	humedad, de igual manera se usa para la detección temprana de plagas, enfermedades y estrés hídrico. Drones utilizados: Phantom, Mavick
Capacitación con drones en la agricultura	Las empresas ofrecen el servicio de capacitación y visita a estancias educativas para compartir su conocimiento sobre el pilotaje de drones que contribuyan a mejorar las condiciones del campo mexicano.

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas

Comprobando la teoría de Albiero et al., (2020) donde se menciona que la Agricultura 4.0 es una tendencia inevitable e irreversible en la agricultura moderna, se puede notar que los usos de tecnología dron señalados en el Cuadro 8, emergen como una herramienta valiosa para la agricultura. Esta ha demostrado ser beneficiosa al mejorar en mayor medida la eficiencia, productividad y sobre todo la sostenibilidad al reducir el desperdicio de agua en labores de fumigación.

Por otro lado, es de suma importancia señalar a la empresa líder del mercado de drones agrícolas como se describe en las cifras presentadas por Nairí (2022) y lo corroboran las entrevistas realizadas en esta investigación. Resulta evidente que el líder del mercado de drones agrícolas es “Dá-Jiang Innovations”, conocida como DJI, la cual está ubicada en China. En ese sentido, en la Figura 20 se presenta un modelo simple pero esencial en las cuatro redes de valor detectadas en este estudio.

La interacción que se da en las redes es la siguiente: DJI es la encargada de vender sus equipos a los distribuidores oficiales, quienes a su vez son los encargados de vender los equipos a otras empresas, productores y pequeños emprendimientos, que finalmente son los usuarios finales de los drones.

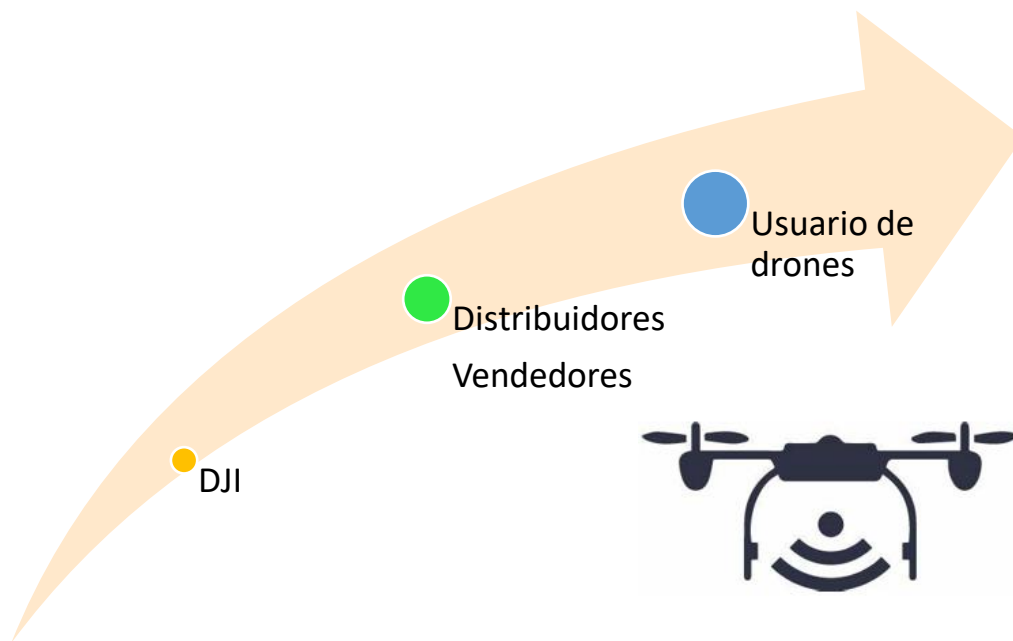


Figura 20. Modelo de Negocio simplificado que sigue DJI

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta que el líder del mercado de drones agrícolas es DJI, en la Figura 21 se presenta una descripción histórica de sus productos a través de una línea del tiempo. Dentro de la evolución de los tipos de drones en la agricultura es importante destacar que el primer artefacto en salir al mercado fue el dron MG-1P en el año 2015, causando un revuelo en el sector agrícola ya que nunca se había visto un artefacto de este tipo diseñado para realizar labores relacionadas con la agricultura. Posteriormente, en 2019, se dio un salto a los ya más conocidos drones Agras, con el dron Agras T16, este dron fue más aceptado por la comunidad. Las funciones que realiza son fundamentalmente para la pulverización de pesticidas, fertilizantes y otros agroquímicos en los campos de cultivo. Además, cuenta con una función de planificación de vuelo que permite

diseñar rutas específicas para maximizar la cobertura y aplicación eficiente de los productos.

Para el año 2020 en adelante surgen varias gamas de productos de la serie Agras, entre las que destacan Agras T10, Agras T20, Agras T30, Agras T40 y recientemente en el año 2023 el dron Agras T20p. La evolución de estos dispositivos se muestra en la línea del tiempo contenida en la Figura 21.

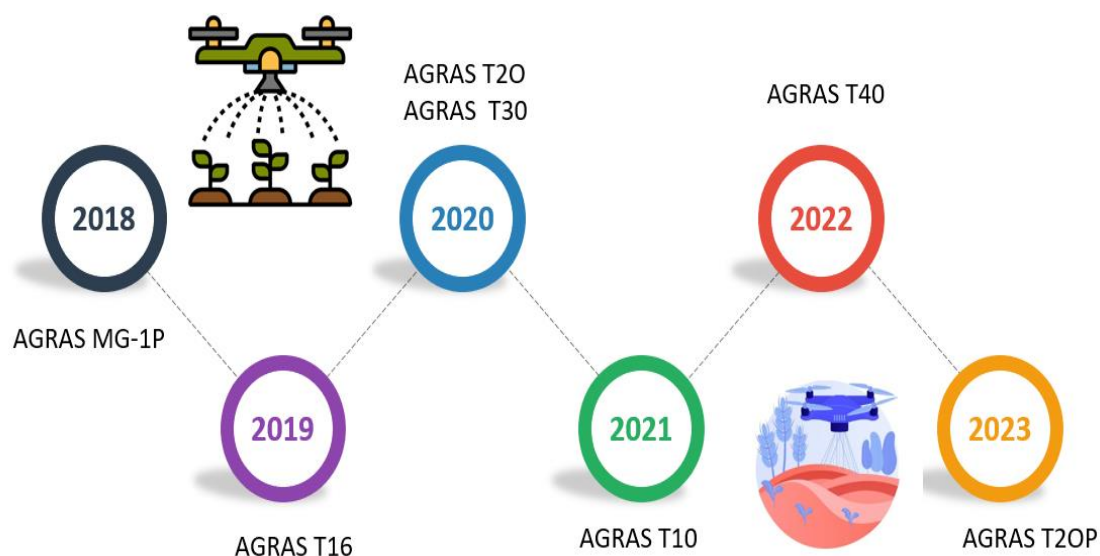


Figura 21. Evolución de los drones agrícolas DJI

Fuente: Elaboración propia con datos del curso “Drones en la Agricultura” impartido por DIMASUR

5.1.3 Comparativo del uso de drones con otras tecnologías de aspersión

Una de las principales aplicaciones de los drones es la aplicación de agroquímicos cuya importancia es reconocer las ventajas y desventajas de los métodos de aplicación que existen actualmente en comparación con la tecnología dron. Esto se explica de manera detallada en el Cuadro 10, mostrando ventajas y desventajas en cada una de las tecnologías utilizadas en este ámbito.

Cuadro 10. Cuadro comparativo del uso de drones con otras tecnologías de aspersión

Método de aplicación	Ventajas	Desventajas
Mochila aspersora	• No usa energía fósil • Menor costo • Facilidad de manejo • Aplicación directa • Fácil mantenimiento	• Contacto directo • Aplicación no homogénea • Tardado • Mayor costo en mano de obra • Se requiere más agua • Más cansado
Tractor	• Más rápido • Tiene más usos • Menos personal • Menor contacto con el producto • Menos cansado • Mayor disponibilidad de renta • Mayor apoyo económico (fácil acceso) • Tecnificación	• Compacta el terreno • Logística • Uso de energías fósiles • Mantenimiento • Personal que sepa operar y calibrar implementos • Consumo elevado de agua • Aplicación poco homogénea • Rentabilidad (pequeños y medianos productores) • Accesibilidad al terreno
Avioneta	• Tiempo de aplicación corta • Apto para emplearse en diversos cultivos • Menor requerimiento en volúmenes de agua • Rentable para grandes extensiones de terreno • No genera compactación en el suelo al emplearlo	• Costos de aplicación y de mantenimiento altos • Necesidad de personal más especializada y de mayor costo • Condiciones meteorológicas • La deriva del viento genera no homogeneidad en aplicación y contamina otras zonas que no son de interés • Tener cerca infraestructura especial • Combustible caro • Parcelas estén juntas

Dron	• Menor mano de obra • Distintos usos • Amplia ventana de trabajo • Homogeneidad • Menos contaminación • Accesibilidad del terreno • Menos agua • Logística • Configuración de las aplicaciones • No compacta el suelo • Menor riesgo de intoxicación • Menor mantenimiento • Combustible • Fácil operación • Mayor precisión • Registro de datos o documentación • Protección IP67(sólidos) • Rentabilidad • Velocidad	• Regulación • Sensible a condiciones atmosféricas • Mantenimiento especializado • Distribución • Permiso • Batería de litio • Inversión inicial • Capacitación especializada • Disponibilidad de mano de obra calificada • Financiamiento • Proveeduría (China)

Fuente: Elaboración propia con datos recolectados en campo

De manera resumida y más digerible la información, el Cuadro 11 presenta de manera concisa las ventajas de los drones en comparación con otras técnicas de aspersión. Lo cual permite una comprensión rápida y clara de por qué los drones son una opción cada vez más aceptada y preferida en la agricultura.

Cuadro 11. Ventajas de los drones respecto a otras formas de aspersión.

	Drones	Mochila aspersora	Tractor
Acceder a terrenos complicados	✓	X	X
Ahorro en agroquímicos y agua	✓	X	X
Llega a todas las plantas	✓	X	X
Reduce los riesgos del agricultor	✓	X	X
Menor tiempo de trabajo	✓	X	X

Fuente: Elaboración propia con datos recolectados en campo

Para mostrar los beneficios que trae consigo la implementación de drones con respecto a otras tecnologías agrícolas, a continuación se desarrolló un cálculo sencillo de la rentabilidad del dron agrícola comparado con una pulverizadora.

Rentabilidad del dron agrícola comparado con una pulverizadora

Para un agricultor con 100 ha, se establecen las condiciones del problema en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Características de las tecnologías agrícolas

Pulverizadora	Dron
Capacidad de 600 litros	Capacidad de 40 litros
Caudal 20 l/min	Caudal 6 l/min
Dosis 175 l/ha	Dosis 15 l/ha

Cálculos de la pulverizadora

Capacidad del tanque:

$$\frac{600 \text{ l}}{175 \text{ l/ha}} = 3.4 \text{ ha} \dots \dots (1)$$

Tiempo:

$$\frac{600 \text{ l}}{20 \text{ l/min}} = 30 \text{ min} \dots \dots \dots (2)$$

Tiempo real (tomando en cuenta logística) = 30min+30 min

Con el resultado obtenido en la ecuación 1 y tomando como supuesto que la jornada laboral dura 8 horas, se estarían fumigando 27.2 ha/ día (Ver ecuación 3) utilizando la pulverizadora.

Día se fumigan 3.4 ha x 8 horas= 27.2 ha/día..... (3)

En la ecuación 4 se muestra cuanto tiempo se requiere para cumplir con las 100 hectáreas que requieren la fumigación, dando como resultado que ocuparía aproximadamente 4 días.

$$\frac{100 \text{ ha}}{27.2 \text{ ha/día}} \approx 4 \text{ días} \dots \dots \dots (4)$$

Para calcular los datos de costos de consumo de combustible, se tiene la información de que se requieren 15 litros de Diesel a \$25 por lo que se tiene un costo aproximado de \$12,000 por los 480 litros de diésel que se necesita.

$$8 \times 4 \times 15 = 480 \text{ litros}$$

$$480 \times \$25 = \$12,000 \dots \dots (5)$$

Posteriormente se realizan los cálculos con respecto al consumo y operación (Cuadro 13) utilizando la pulverizadora. Se determina que serán necesarios dos trabajadores para hacer las operaciones fumigación.

Cuadro 13. Costo de operación y consumo

Concepto	Costo (\$)
480 litros de diésel	12,000
2 operadores	2,400
Total	14,400

Haciendo los cálculos correspondientes ecuación 6, resulta que el costo por hectárea para la fumigación con pulverizadora es de \$144/ha

$$\frac{\$14,400}{10,000 \text{ ha}} = 144 \frac{\$}{\text{ha}} \dots \dots (6)$$

Para todo el ciclo:

$$14,400 \times 5 = \$72,000 \dots \dots (7)$$

Tras realizar los cálculos, se observa que la fumigación con pulverizadora para todo el ciclo tendría un costo aproximado de \$72,000.

Ahora se hará el mismo cálculo pero utilizando como método de aspersión el dron agrícola.

Cálculo Dron Agrícola ocupando un Agras T40

Capacidad del tanque:

$$\frac{40 \text{ l}}{15 \text{ l/ha}} = 2.6 \text{ ha} \dots \dots (8)$$

Tiempo:

$$\frac{40 \text{ l}}{6 \text{ l/min}} = 6.67 \approx 7 \text{ min} \dots \dots (9)$$

$$\text{Tiempo} = 7 \text{ min} + 3 \text{ min} = 10 \text{ min}$$

Con los cálculos de la ecuación 8 y 9, la interpretación de ese resultado es que por cada 10 min el dron agrícola Agras T40 fumiga 2.6 Ha.

Se procede hacer el cálculo de fumigación por hora y por día

Hora:

$$2.6 \times 6 = 15.6 \frac{\text{ha}}{\text{h}} \dots \dots (10)$$

Día:

$$15.6 \frac{ha}{h} \times 8 = 124.8 \frac{ha}{día} \dots \dots (11)$$

Es notorio ver con las ecuaciones 10 y 11 que para fumigar las 100 ha del problema con dron se requiere un día.

Como paso siguiente se realizan los cálculos con respecto al consumo y operación (Cuadro 14) utilizando el dron Agras T40. Se determina que serán necesarios dos operadores para el trabajo.

Cuadro 14. Costo de operación y consumo con dron

Concepto	Costo (\$)
50 litros de diésel	1,100
2 operadores	600
Total	1,700

Gasolina (50 litros diésel) = 50 litros x \$22 = \$1,100

$$\frac{1700}{100} = \frac{\$17}{ha} \dots \dots (12)$$

Costo x ha = \$17/ha

Realizando los cálculos correspondientes ecuación 13, resulta que el costo por hectárea para la fumigación con dron es de \$17/ha

Para todo el ciclo:

$$1700 \times 5 = \$8,500 \dots \dots (13)$$

Tras realizar los cálculos, se observa que la fumigación con dron Agras T40 para todo el ciclo tendría un costo aproximado de \$8,500.

Elaborando un contraste entre los dos tipos de tecnología, se visualiza que existe un evidente ahorro usando dron con respecto a la pulverizadora, mientras que la

pulverizadora tiene un costo para todo el ciclo de \$72,000, el dron Agras T40 tienen un costo para todo el ciclo de \$8,500. Esto se puede comprobar de manera matemática como se muestra en la ecuación 14

$$\frac{72,000 - 8,500}{72,000} = \frac{63,500}{72,000} = 0.88 \dots \dots (14)$$

Por lo tanto se tiene un ahorro del 88% al usar dron agrícola respecta a una pulverizadora. Este ejercicio refuerza la teoría de Acosta-Henríquez & Mendoza-Torres (2017) ya que se comprueba que a través de la implementación de drones dentro de la agricultura de precisión, se está mejorando la producción y economía del agricultor.

5.1.4 Costos de drones agrícolas

La agricultura se encuentra en un proceso de transformación impulsado por avances tecnológicos principalmente provenientes de la Agricultura 4.0 y 5.0. En este sentido, los drones forman parte de este desarrollo. Una consideración importante son los costos asociados. A pesar de que estos costos representan una inversión inicial muy fuerte, ofrecen una serie de beneficios que pueden traducirse en ahorros y rentabilidad a largo plazo.

Algunos de los costos de drones agrícolas que se mencionaron en las entrevistas realizadas es que un Dron Agras T40, con una capacidad de carga de 40 litros, tiene un costo entre \$505,000-\$562,000 mientras que un Dron Agras T20, cuya capacidad de carga es de 20 litros, ronda alrededor de \$223,000-\$350,000.

En cuanto el servicio de maquila, la renta de dron está en promedio entre \$450-\$500 por hectárea, lo que les resulta accesible a las personas usuarias de este servicio.

Si se desea emplear un modelo de negocio que utilice drones agrícolas, el sueldo de un piloto de dron está valuado en \$15,000 al mes y el seguro de una camioneta Pick up tiene un costo aproximado de \$10,000 cada 4 meses. Así que para la implementación más detallada de montar un negocio con drones agrícolas se describe en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Costos sobre uso de dron agrícola

Concepto	Costo \$/mes
Combustible	13,200
Operadores	15,000
Ayudante	8,000
Transporte	15,000
Mantenimiento	2,500
Comida	6,000
M. Correctivo	1,250
Total	60,950

Fuente: Elaboración propia con datos del curso “Drones en la Agricultura” impartido por DIMASUR

Para hacer un negocio de maquilar el servicio de fumigación con dron, tomando como referente que se vende a \$400 la ha, así como que se tiene la disposición de asperjar 280 ha/mes, se necesitarían aproximadamente 12 días de trabajo.

$$\frac{280}{12} = 23 \frac{ha}{día} \dots \dots \dots (15)$$

Con la ecuación 15 se calcula que para fumigar las 23 ha/día se requieren dos horas del trabajo del dron.

Lo obtenido en la ecuación 15 representa el punto de equilibrio necesario para recuperar la inversión, o como coloquialmente se expresa, “salir tablas”. Esto implica generar un ingreso mensual de aproximadamente de \$112,000. Con este resultado, al compararlo con lo que resalta Ríos-Hernández (2021), quien señala un crecimiento del 80-90% en el tema de los drones en el sector agropecuario, se considera que estas predicciones podrían materializarse.

5.1.5 Perspectiva de los drones en la Agricultura (medición en Escala Likert)

Los resultados (Figura 22) mostraron que las personas más interesadas en los drones en la agricultura son del género masculino (90.2%), así como también

trabajadores agrícolas (23.5%). De la población encuestada, el 64.7% cuenta con estudios profesionales (Figura 23), lo cual es un factor común en varios países como se sugiere en la investigación de Siddharth et al., (2021). Se detectó que existe una aprobación bastante elevada sobre las empresas que ofrecen la venta y/o renta de drones en la agricultura con una media de 0.80., en la escala que va de 0 a 1.

En el gráfico de la Figura 23, que se refiere a la escolaridad, se detectó que de las 51 personas encuestadas, las que se encuentran más interesadas en los temas de drones en la agricultura poseen licenciatura como nivel educativo. En relación con esto, se podría sugerir que la comprensión y el interés de tecnologías avanzadas como los drones están asociados con un nivel educativo más alto, como anteriormente evidenció Obiero et al., (2019) en su estudio sobre tecnologías en la acuicultura.

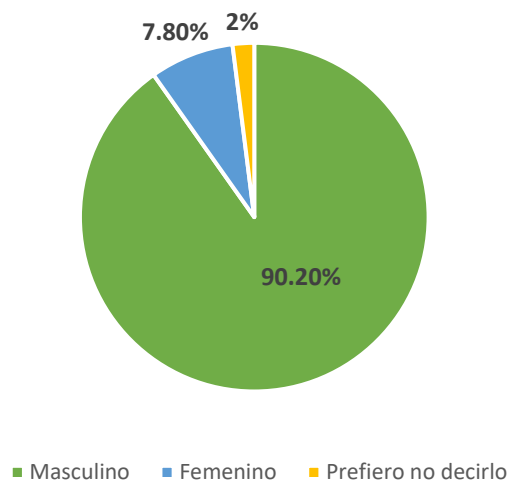


Figura 22. Género de las personas encuestadas

Fuente: Elaboración propia

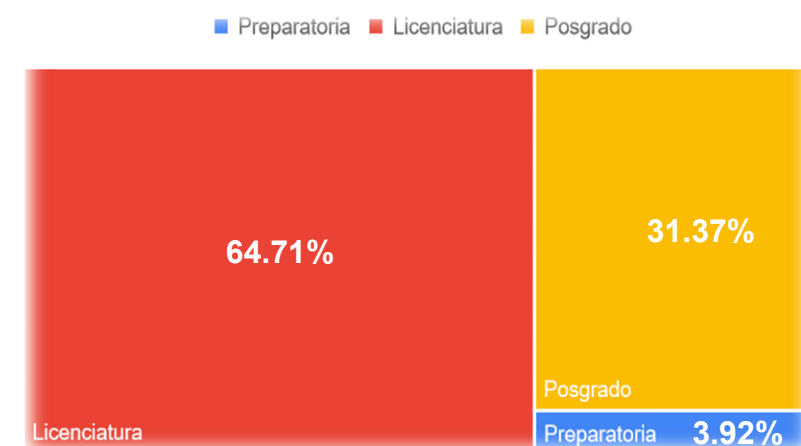


Figura 23. Escolaridad

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, como se aprecia en la Figura 24, se detalla gráficamente, que en el rubro de género es evidente que los profesionistas con un 31.4% y trabajadores de actividades agrícolas (23.5%) son los que presentan mayor interés en la tecnología dron como una herramienta de apoyo para el campo mexicano.

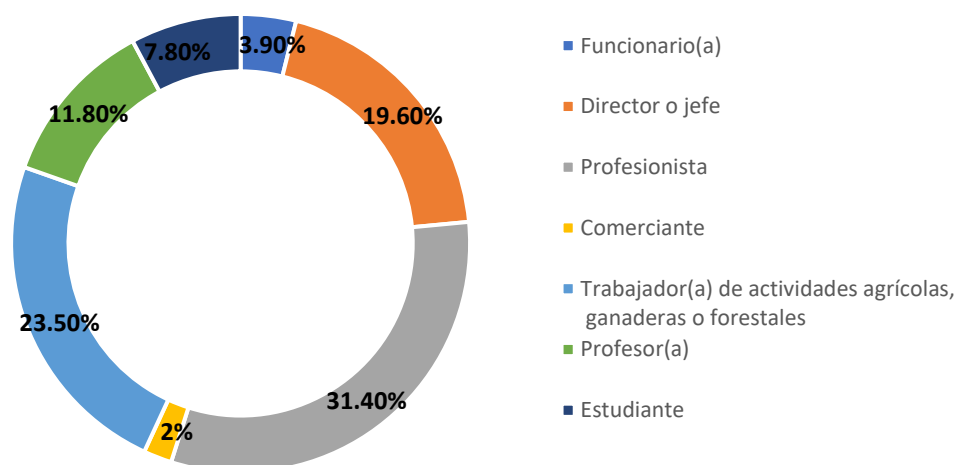


Figura 24. Ocupación de las personas encuestadas

Fuente: Elaboración propia

Los resultados reflejados en la Figura 25 revelan una aprobación bastante elevada del uso de drones en la agricultura. Las preguntas desarrolladas se encuentran en el Apéndice 4. Estos hallazgos indican que los drones se perciben como la solución a varios problemas actuales que se está presentando, entre ellos están: hacer más eficiente el consumo agua, escasez de mano de obra en las operaciones de fumigación en los campos, evitar el contacto directo de los agroquímicos con los jornaleros, entre otros.

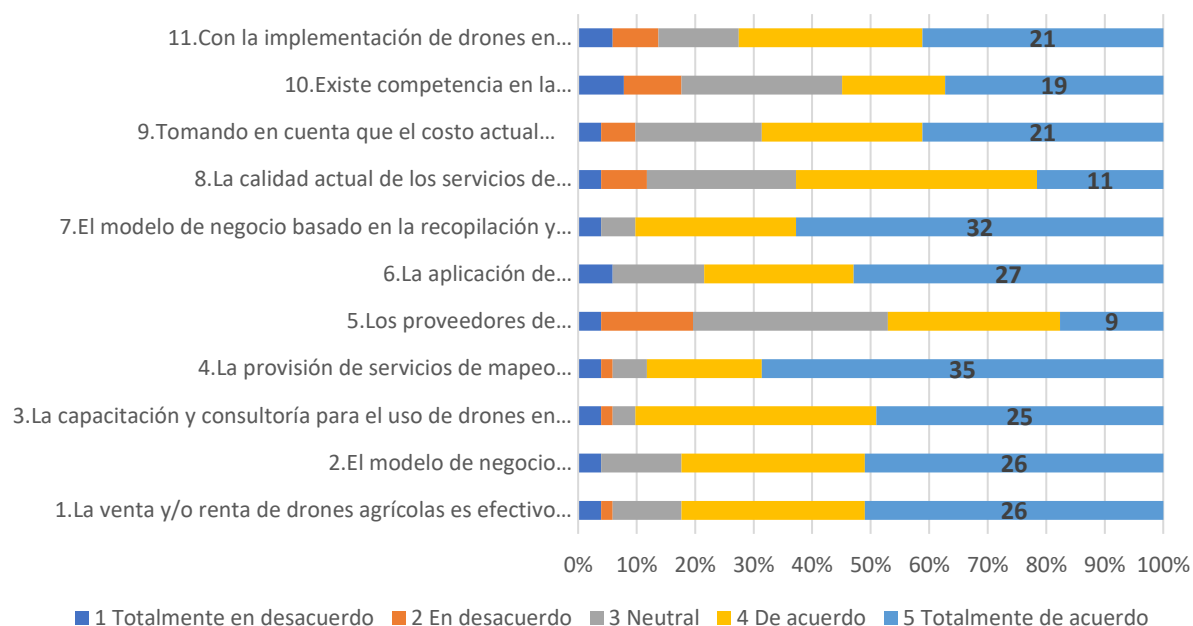


Figura 25. Perspectiva de los drones en la agricultura cuantificado mediante una escala tipo Likert

Se detectó que existe una aprobación bastante elevada sobre los modelos de negocio de drones en la agricultura con una media de 0.80 (Figura 26), esta información se obtuvo utilizando el índice de modelos de negocio que se explicó en la metodología.

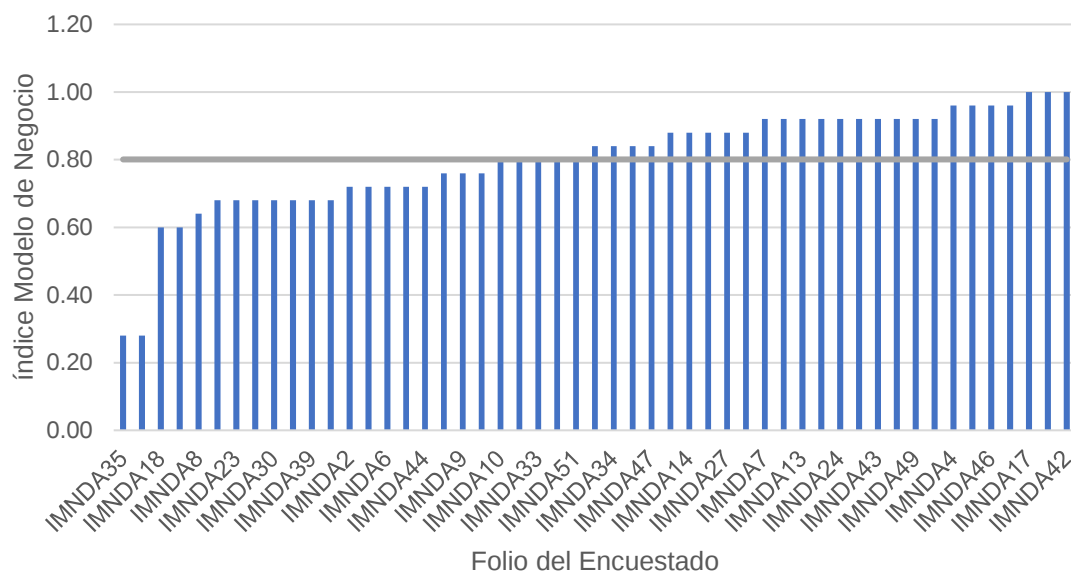


Figura 26. Índice de Modelos de Negocio de Drones Agrícolas N=51

La correlación en el Cuadro 16 indica que existe una asociación positiva en los ítems de modelo de negocio. Sin embargo se observa que la competencia en la venta y/o servicios de drones es el factor menos vinculado con las demás variables, se tomó como base una significancia menor de 0.01.

Cuadro 16. Correlaciones de la categoría modelos de negocio

	Innovación	Inn1	Inn2	Inn5	Inn7	Inn10
Tau_b de Kendall (coeficiente de las necesidades de los agricultores correlación)	1.La venta y/o renta de drones agrícolas es efectivo para satisfacer	1.000				
	2.El modelo de negocio basado en servicios de monitoreo y análisis de cultivos con drones es valioso para los agricultores	.491**	1.000			
	5.Los proveedores de drones son ideales	.396**	.484**	1.000		
	7.El modelo de negocio basado en la recopilación y análisis de datos agrícolas mediante drones ayuda a mejorar la toma de decisiones en la agricultura.	.474**	.347**	.334**	1.000	
	10.Existe competencia en la venta y/o servicio de drones	0.154	.348**	0.210	0.131	1.000

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados sugieren que, en la parte de competencia en la venta y/o servicios de drones, la aprobación es limitada, lo que indica un área de mejora en este aspecto.

5.1.5.1 índice de modelos de negocio

Los ítems que se graficaron en la Figura 27 son:

- a) Existe competencia en la venta y/o servicio de drones.
- b) El modelo de negocio basado en la recopilación y análisis de datos agrícolas mediante drones ayuda a mejorar la toma de decisiones en la agricultura.
- c) Los proveedores de drones son ideales.
- d) La capacitación y consultoría para el uso de drones en la agricultura agrega valor a los productores.
- e) El modelo de negocio basado en servicios de monitoreo y análisis de cultivos con drones es valioso para los agricultores.

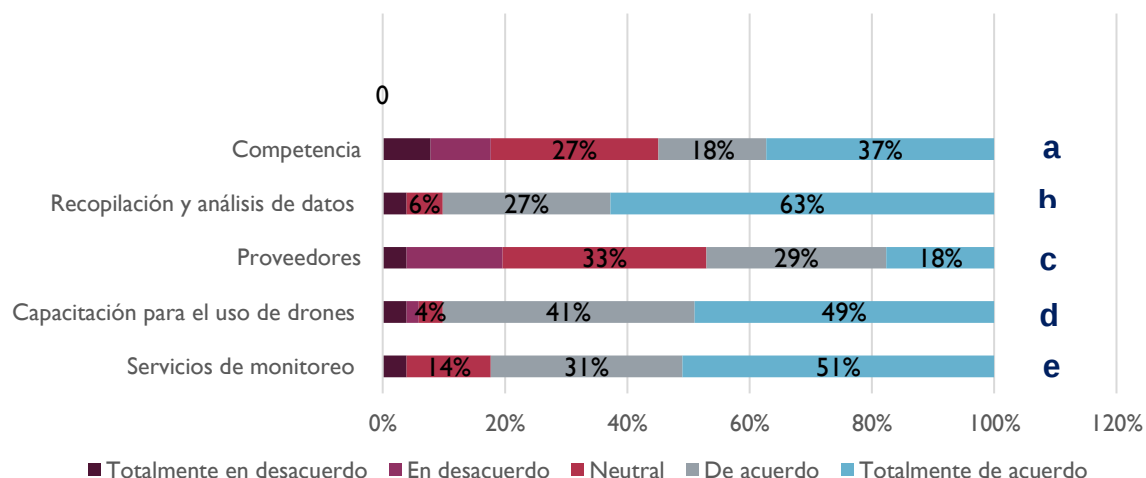


Figura 27. Gráfica de frecuencias del IMNDA

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la escala Likert

En la gráfica de frecuencias representada en la Figura 27, se visualiza que las áreas de oportunidad, las cuales se marcan con mayor neutralidad son mejorar la proveeduría de drones y dar a conocer las diferentes marcas y empresas que existen referente a drones agrícolas para que los usuarios estén familiarizados con la competencia que existe.

Lo que representa este índice es que a mayor IMNDA (Índice de Modelos de Negocio de Drones Agrícolas) será mayor la aceptación de los modelos de negocio de drones en la agricultura. Se tomaron en consideración los rubros de competencia, recopilación y análisis de datos, proveedores, capacitación para el uso de drones y servicios de monitoreo.

5.1.5.2 índice de accesibilidad a la tecnología dron

Como se observa en la Figura 28, se percibe que las personas encuestadas consideran que la venta y/o renta de drones, los servicios de mapeo, así como la fumigación de drones son bastante accesibles. Sin embargo, en la cuestión de calidad e integración no están muy de acuerdo con la disponibilidad de esta tecnología para todo tipo de agricultores.

Las preguntas que se hicieron para la elaboración del gráfico de la Figura 28 son:

- a) La venta y/o renta de drones agrícolas es efectivo para satisfacer las necesidades de los agricultores.
- b) La provisión de servicios de mapeo y topografía con drones es beneficioso para los agricultores.
- c) La aplicación de tecnologías de pulverización y fumigación con el uso de drones es efectiva en la agricultura.
- d) La calidad actual de los servicios de fumigación con dron es adecuada.
- e) Tomando en cuenta que el costo actual del servicio de drones esta entre \$400-\$500/ha aproximadamente, consideras que es accesible.
- f) Con la implementación de drones en la agricultura existe mayor posibilidad de integración de todo tipo de productores (pequeños, mediano y grandes)

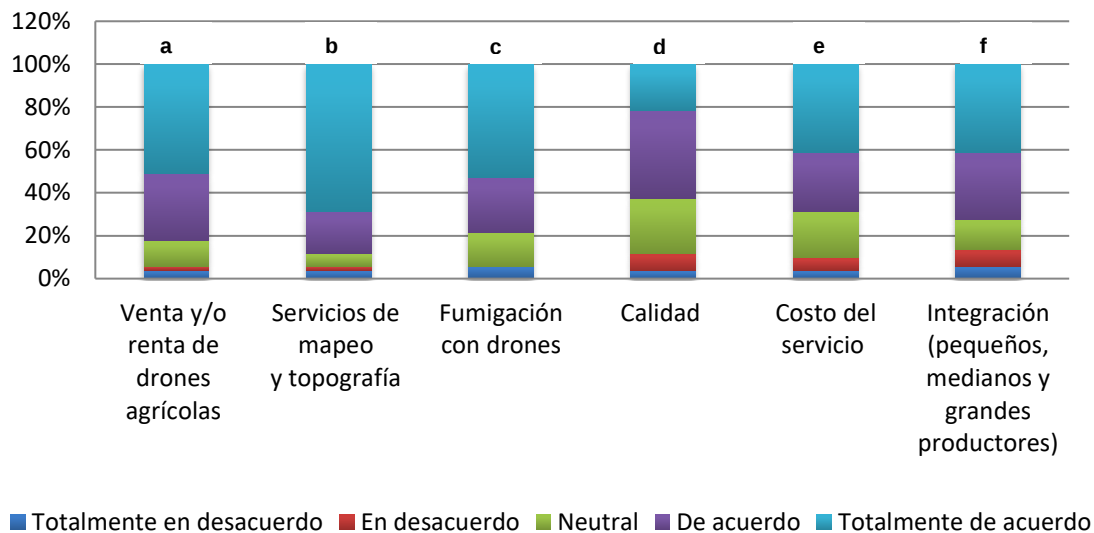


Figura 28. Gráfica de frecuencias del IATD

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la escala Likert

De igual manera se observa que hay un mayor consenso en que la provisión de servicios de mapeo y topografía con drones es beneficiosa para los agricultores. Además, se visualiza mayor neutralidad en la calidad actual de los servicios de fumigación con drones.

5.1.6 Futuro de los drones en la agricultura

Mediante la encuesta aplicada, se les preguntó a los participantes que escribieran tres palabras que describan el futuro de los drones en la agricultura, para lo cual se destacó a) Eficiencia, b) Innovación y c) Precisión (Figura 29).



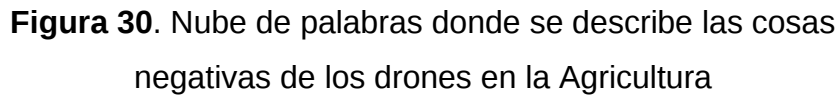
Figura 29. Nube de palabras donde se describe el futuro de los drones en la Agricultura

Fuente: Elaboración propia con datos colectados en campo

Este resultado que se muestra en la Figura 29 da la pauta para corroborar que las personas han observado la gran eficiencia que trae consigo el uso de drones en la agricultura. De igual manera, se visualiza como una innovación tecnológica, en este caso los drones, es percibida para mejorar la producción agrícola en México.

Del mismo modo se indicó que se señalaran tres palabras que describieran las cosas negativas de los drones en la agricultura. Esto con el fin de encontrar las áreas de oportunidad para mejorar el servicio o venta de drones.

Para lo cual, como se observa en la Figura 30, se destacó que es costoso, requiere mantenimiento y existe cierto desconocimiento de estos equipos.



5.2 Redes de valor los modelos de negocio de las empresas de drones

81

Cuadro 17. Modelos de Negocio de empresas de drones en México

Modelo de Negocio	% de empresas	Características
Distribuidor oficial	30	Se encargan principalmente de la importación de los equipos y comercialización de estos. Sus clientes son principalmente empresas y productores grandes.
Maquila (fumigación)	40	Este modelo adquiere los equipos de los distribuidores y ellos se encargan de ofrecer servicios de aplicación de agroquímicos a pequeños y medianos productores.
Mantenimiento y reparación	20	Se enfoca en mantener en buen estado los equipos. Sus principales clientes son los productores o empresas que cuentan con una flota de drones para la fumigación de sus cultivos.
Integral	10	El modelo Integral cuenta con diversas actividades, estas son desde la comercialización, arrendamiento, capacitaciones y asesorías.

Fuente: Elaboración propia con datos recolectados en campo.

Inmerso en estos modelos de negocios se encuentra el de análisis de datos recopilados a través de los drones, haciendo el uso del *big data*, verificando lo que señalaron Osinga et al., (2022), donde se están desarrollado varias aplicaciones nuevas de *macrodatos* e inteligencia artificial en el sector agrícola.

Algunas empresas ocupan los drones para dar un mejor servicio y reporte en tiempo real del trabajo realizado. Sin embargo, otras entidades aún no lo ocupan ya que mencionan que eso es algo que no le interesa del todo al agricultor, ya que estos aseveran que no ven el resultado inmediato y se tiene la creencia de que se les está vendiendo algo intangible.

En el contexto de la agricultura moderna, la implementación de tecnología dron ha generado grandes cambios en las dinámicas operativas y relaciones entre los diversos actores clave. En este sentido, a continuación se describen cada una de las redes de valor. En primera instancia es fundamental abordar el concepto de red de valor, que se refiere a las actividades y relaciones entre diferentes actores que participan en la utilización de tecnología dron en la agricultura.

5.2.1 Distribuidor de drones DJI

La primera red que se muestra en la Figura 31 describe las interacciones en el modelo de negocio donde las empresas son distribuidores directos de DJI. Esta es la empresa más grande de fabricación de drones a nivel mundial, con localización en China. Dentro de este modelo de negocio caen las empresas como Dronland, Dimasur y Geospectral.

En este sentido, la red de valor es un canal para la transferencia de conocimiento y mejores prácticas en el uso de drones en la agricultura, ya que se cuentan con complementadores para ello, dentro de este ámbito se encuentran las instituciones educativas agrícolas, principalmente la Universidad Autónoma Chapingo y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. De igual manera se cuenta con técnicos especializados que son parte de la empresa DJI. Además de que se tienen vinculaciones con empresas del sector privado y gobierno tanto en el rubro de complementadores como en el de clientes.

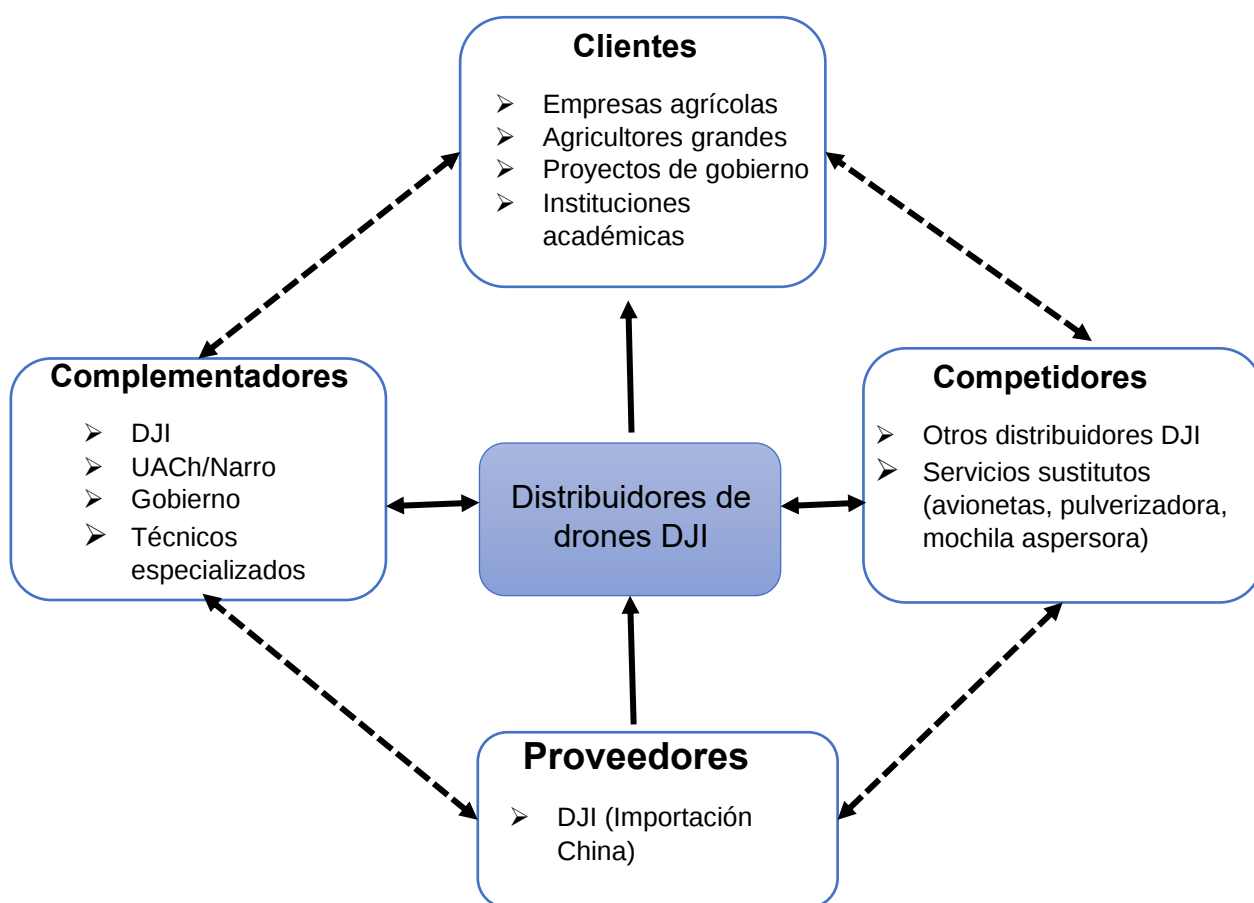


Figura 31. Red de valor de distribuidores de drones DJI

Fuente: Elaboración propia con datos recolectados en campo

En el ámbito de la proveeduría al ser distribuidores directos, su proveedor es la fábrica de DJI. Sus clientes son principalmente empresas agrícolas grandes, que tiene la capacidad de adquirir un dron o varios de ellos. También atienden a productores medianos y grandes, de la misma manera, se encuentran inmersos en proyectos de gobierno. En su modelo de negocio se incluye la prestación de servicios de capacitación a instituciones de enseñanza como lo son la Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y diversas escuelas tecnológicas-agronómicas.

5.2.2 Dron o flota de drones con maquila de aplicación de agroquímicos

En el modelo de negocio que se muestra en la Figura 32. La operación implica la compra de un dron o una serie de drones principalmente a los distribuidores mostrados en el modelo de negocio 5.2.1. Posteriormente, se ofrece el servicio de maquila a los principales clientes, que en la zona centro de México son los productores pequeños y medianos. A diferencia del norte del país, donde los clientes poseen superficies de tierra más extensas y existen empresas más grandes a las que se les da el servicio, como el caso de Barcel y Sabritas.

En este marco las empresas que siguen este modelo de negocio son: BeeDrone, Edison Smart Tec, Agrorebellion, AgriDrones México. Este modelo también se implementa en la India según Pathak et al. (2020) donde se presenta un gran auge el arrendamiento de servicio con dron para la fumigación de los cultivos.

La principal competencia que existe en este modelo de negocio son otras pequeñas empresas que se dedican de la misma forma al arrendamiento de drones. Así como también se compete con otros métodos de fumigación tradicionales, entre los que destacan el uso de mochilas aspersoras, avionetas y pulverizadoras.

Los proveedores de este modelo están directamente relacionados con los distribuidores que se mostraron en el apartado 5.2.1 de este documento, ya que estos son los que tienen los permisos y las facultades para hacer la importación directa con China de los drones, principalmente de la serie Agras.

Dentro de los complementadores, se aprecia un fuerte respaldo por parte de sus distribuidores. Asimismo, se asesoran con ingenieros agrónomos, si es el caso de que no cuentan con conocimientos agronómicos específicos, como se muestra en la red de valor de la Figura 32.

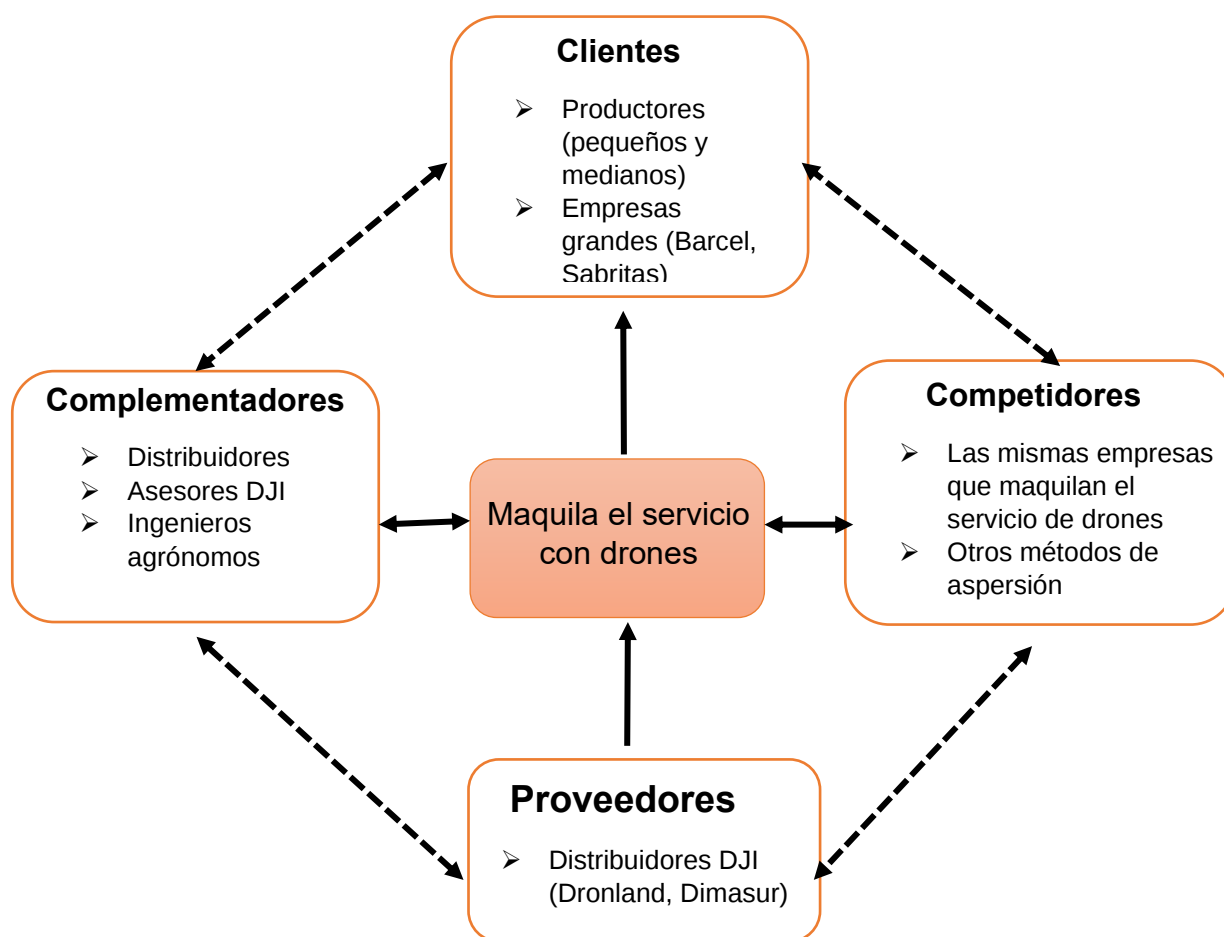


Figura 32. Red de valor de maquilar el servicio con drones

Fuente: Elaboración propia con datos recolectados de campo

En este modelo de negocio en México se está implementado de manera paulatina el *big data* como lo plantea Osinga et al. (2022) con un enfoque de Agricultura 4.0. Sin embargo, se encontró que los productores mexicanos aún no están dispuestos a pagar por este servicio de recolección de datos a través de drones ya que no ven tangible ese suceso de manera inmediata.

Ahora bien, para describir el proceso que se sigue en el modelo de negocio de maquila se implementa el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 33 con un enfoque al servicio al cliente. En primer lugar, llega la solicitud de un servicio de fumigación para las parcelas o hectáreas de tierra que tenga un cliente, por

medio de una llamada telefónica o a través de WhatsApp, esta solicitud llega directamente a las oficinas del negocio. Posteriormente la requisición es atendida por el encargado o administrativo del lugar. Finalmente, se observa la disponibilidad para hacer el servicio de manera inmediata o se requiere agendar. Si el equipo o los pilotos de drones se encuentran ocupados en ese momento, se agenda la requisición para ir en otra fecha a realizar el servicio con el dron, en caso de llegar a un acuerdo se programa el día y hora del servicio.

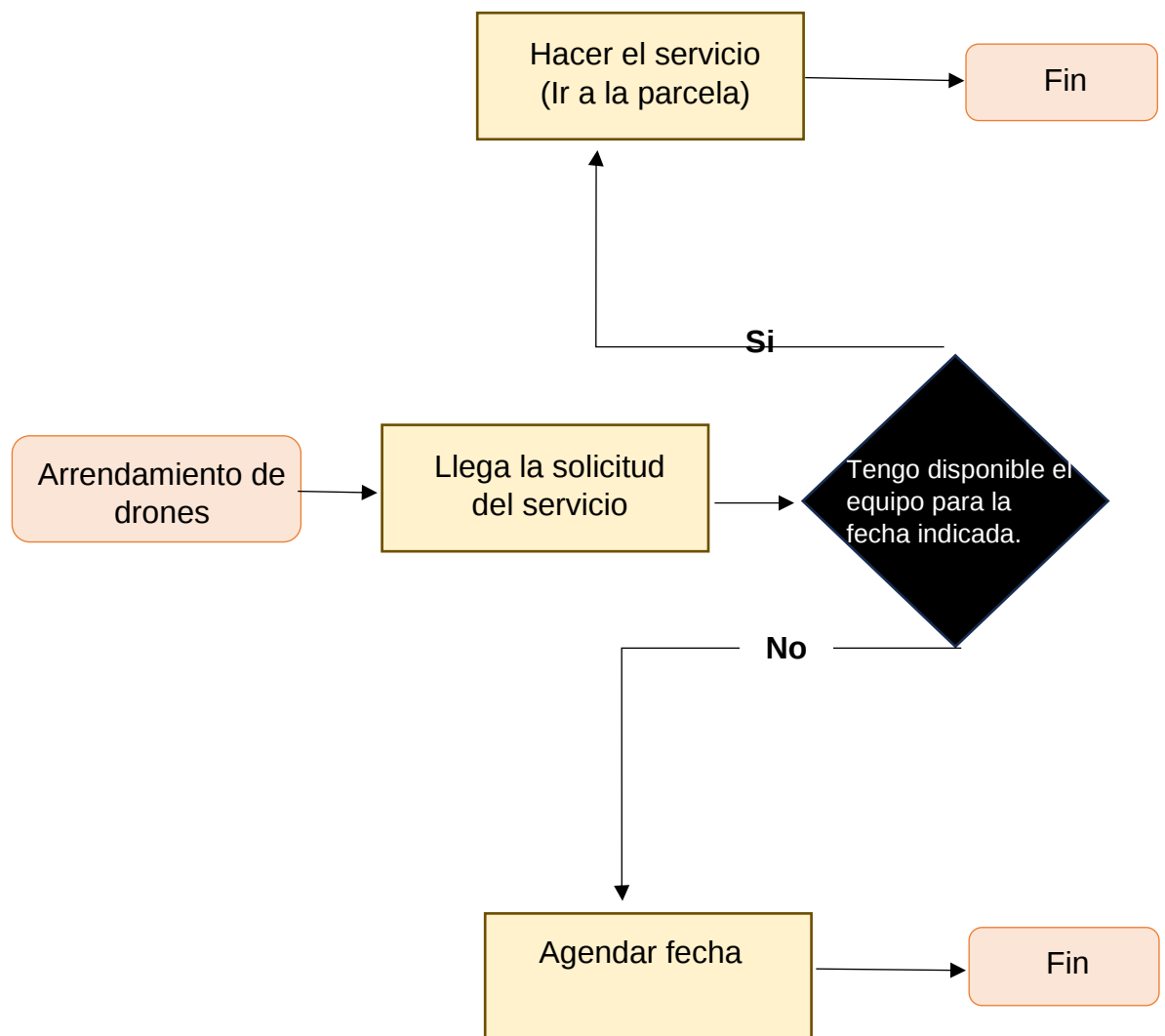


Figura 33. Diagrama de flujo del servicio de arrendamiento de drones agrícolas

Fuente: Elaboración propia con datos de campo

5.2.3 Vinculación de dos redes de valor

Por otro lado, con base en las redes de valor de las Figuras 31 y 32, se observó una vinculación entre estas dos, por lo que se plasmó dicha asociación en la Figura 34.

El diagrama de la Figura 34, se muestra la asociación de redes de valor. En este sentido, los clientes pueden acceder al servicio de drones a través de maquila o compra directa, con el apoyo de los complementadores; que principalmente; ofrecen servicios de capacitación y soporte técnico para el manejo del dron. Asimismo, la competencia está presente tanto en la distribución como en la maquila, lo que está impulsando, tanto la innovación como la mejora continua en el sector agrícola.

La red de valor del distribuidor oficial DJI se centra en la distribución y venta de drones de la marca líder del mercado de drones. A diferencia de la red de valor de maquila, la cual, se enfoca en la aplicación de agroquímicos cuyos clientes principales son los pequeños a medianos productores. La vinculación de la red de valor de distribuidores con el de maquila se da en la cuestión de la proveeduría, ya que los distribuidores oficiales DJI son los encargados de vender sus equipos a las empresas que se dedican a dar el servicio de fumigación con dron.

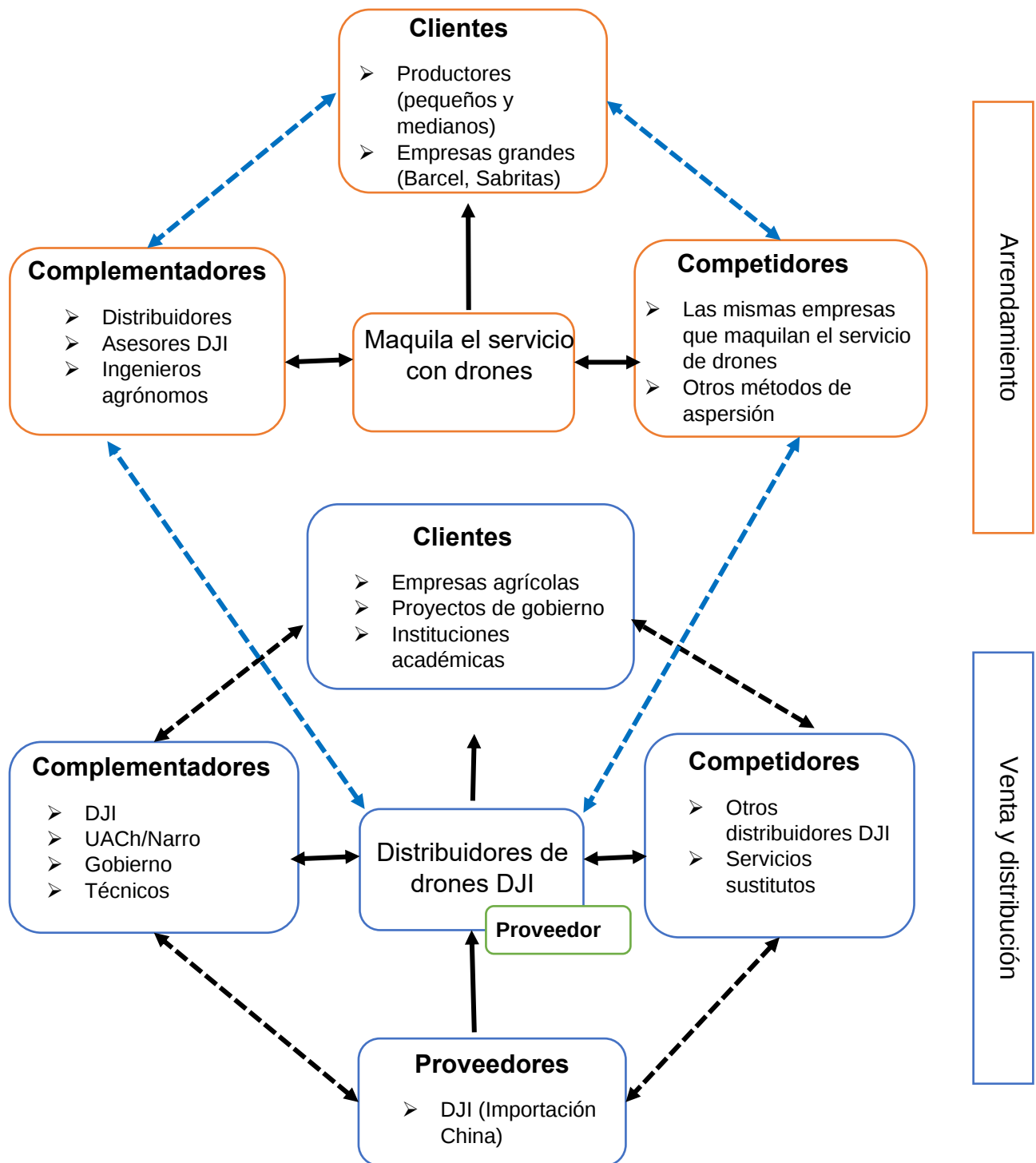


Figura 34. Red de valor de drones DJI y maquila

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Distribuidor complementando con el servicio de mantenimiento y reparación.

En el modelo de la Figura 35, se conjunta tanto la distribución como los servicios de mantenimiento y reparación de drones con el objetivo de satisfacer las necesidades de los clientes. Esto se logra mediante el ofrecimiento de servicios de mantenimiento preventivo y correctivo, garantizado confiabilidad, así como mejorando el rendimiento de los drones. Las principales empresas en México que se dedican a este giro son Tecnofly y Omegadrone.

Del mismo modo se da un servicio de atención al cliente, mediante programación de mantenimiento ocupando como herramientas llamadas telefónicas, así como también correo electrónico y redes sociales.

La forma como se da la proveeduría es mediante DJI e importaciones de drones de otras partes del mundo principalmente Estados Unidos y países europeos.

Sus principales clientes son empresas dueñas de drones que requieren el mantenimiento constante de sus equipos, así como también el usuario que compro un dron para vender sus productos fundamentalmente de agroquímicos.

La modalidad operativa de estas empresas implica la provisión de servicios de mantenimiento posterior a 1000 horas de operación del dron, garantizando así su funcionamiento óptimo.

En el ámbito de las reparaciones, una de las áreas de mayor demanda corresponde al reemplazo de las alas, ya que en ciertas circunstancias, el dron llega a rosar con un objeto indeseado. En el caso específico de los modelos Agras T40 se han presentado problemas en las bombas. No obstante, según lo manifiestan los trabajadores de estas empresas, estos inconvenientes se atribuyen a defectos de fabricación cubiertos por la garantía que otorga la planta.

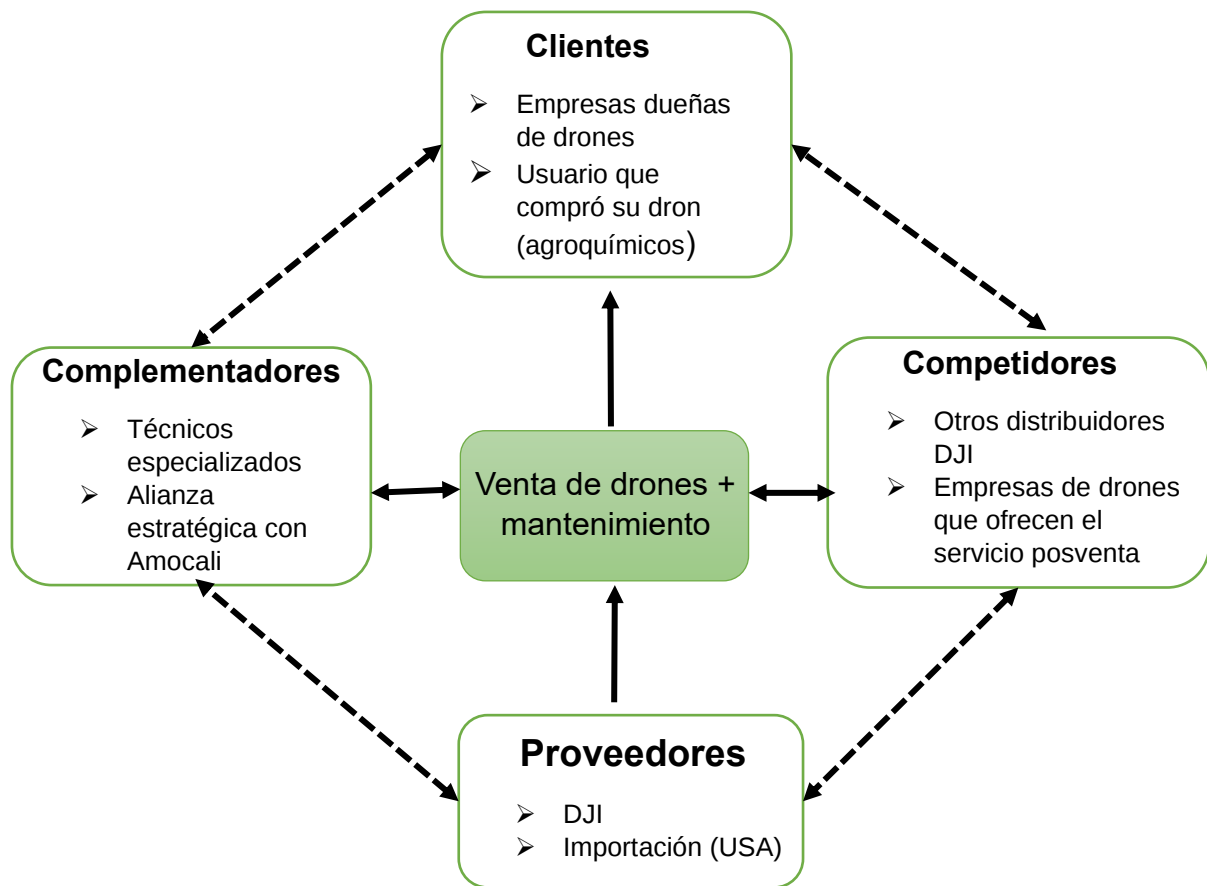


Figura 35. Red de valor venta de drones más mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

La red de valor de mantenimiento guarda similitudes con la que se emplea en el servicio de tractores. Cada vez más los distribuidores oficiales de drones están adoptando este modelo de negocio ya que proporciona otra fuente de ingresos.

5.2.5 Integral (distribuidor, venta, capacitación, reparación y maquila)

En el modelo de negocio mostrado en la Figura 36, se abarcan todas las ramas en las que operan las empresas de drones en la agricultura, desde la comercialización hasta maquila, capacitación, reparación y distribución directa de DJI. En este modelo, el cual está representado por la empresa “Soluciones AUV del Bajío”, se tienen una gran cantidad de clientes por los diversos servicios que

se ofrecen. Aunque está ubicada en Irapuato, Guanajuato, su alcance se extiende por toda la república mexicana.

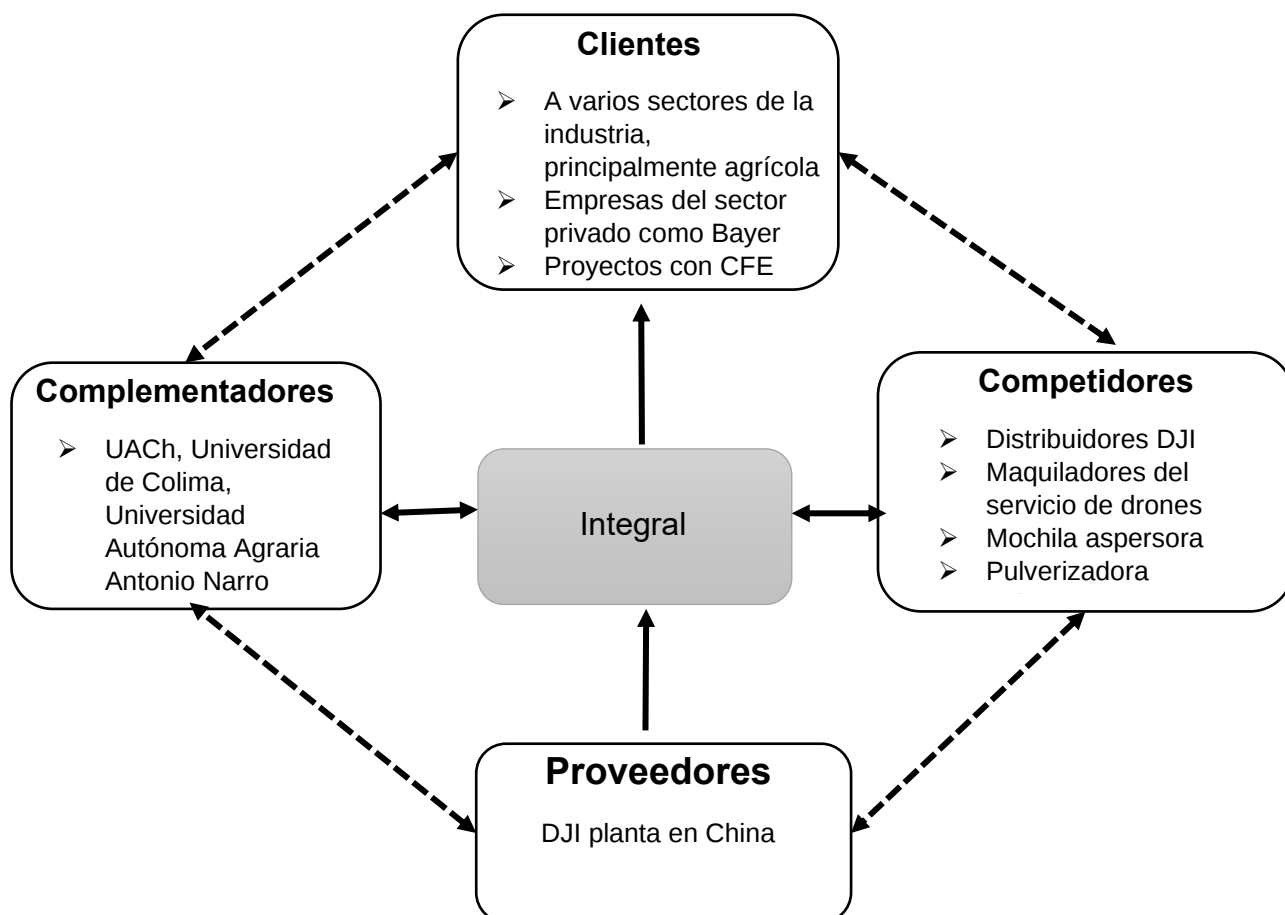


Figura 36. Red de valor del modelo de negocio integral

Fuente: Elaboración propia con datos de campo

Al igual que las tres redes de valor anteriores, los competidores en este caso son las empresas emergentes que se están convirtiendo en distribuidores oficiales DJI. En el ámbito de aplicación de agroquímicos se tiene como sustitutos a todos los servicios de fumigación con avionetas, pulverizadoras o mochilas aspersoras.

Estas redes de valor reflejan y respaldan lo que publicó la OECD/Eurostat (2018) donde se destaca que la aplicación de tecnologías como los drones agrícolas está generando una transformación en los procesos comerciales, la economía y la sociedad en general, en el que México no es la excepción.

Para entender mejor las ventajas de cada red de valor estratificada se elaboró el Cuadro 18 donde se muestran los alcances, beneficios y limitaciones potenciales. Por lo que para plantear esta ventaja relativa, se elaboró el siguiente cuestionamiento: ¿Qué ofrece distinto cada una de las redes de valor y modelos de negocio?, el cual se responde con los argumentos del Cuadro 18.

Cuadro 18. Ventaja relativa de cada uno de los modelos de negocio

Red de valor	Alcance	Beneficios potenciales	Limitaciones potenciales
Distribuidor de drones DJI	Empresas agrícolas	Reconocimiento de la marca	Compromisos solo con esa marca
	Instituciones gubernamentales Colaboración con otras empresas	Diversificación en la gama de productos DJI	
Maquila el servicio de fumigación	A través de redes sociales	Eficiencia al tener un equipo de pilotos expertos	El servicio solamente se requiere por temporadas
	Llamadas telefónicas Conocidos (boca en boca)	Flexibilidad Eficiencia	
Mantenimiento y reparación	Calidad y fiabilidad de sus servicios	Soporte y servicio al cliente	Piezas deben ser importadas desde China
Integral	Dependerá del marketing y promoción	Descuentos Innovación tecnológica	Competencia en el mercado

Fuente: Elaboración propia

Lo abordado en el Cuadro 18 de las ventajas de los modelos de negocio de empresas de drones en la Agricultura concuerda con la teoría de Chesbrough (2003) en el sentido empresarial, donde se hace referencia que en el panorama empresarial moderno, la innovación desempeña un papel crucial para mantener la relevancia y la competitividad. Estos constantes cambios están impulsados por los rápidos avances de la tecnología, la globalización y la evolución de las demandas de los consumidores (Chesbrough, 2003), que en este caso particular se enfoca a la comercialización y arrendamiento de drones agrícolas.

5.3 Modelo CANVAS para empresas de Drones Agrícolas

En esta sección se hizo un comparativo en los modelos de negocio de drones en la agricultura ocupando la metodología del Modelo CANVAS (Osterwalder & Pigneur, 2011), describiendo los nueve apartados referidos en la literatura.

En primera instancia, en la Figura 37 se muestra el análisis del mercado de drones por zonas, detectado mediante la investigación de campo. Se observa que los estados más desarrollados y en un proceso de maduración, con más aceptación, son los pertenecientes a la zona que se denominó Bajío-Norte, en estas entidades destacan los estados de Sinaloa, Guanajuato (Irapuato y Celaya), Querétaro, y zona centro (Hidalgo y Estado de México).

En cuanto al acceso tecnológico de la agricultura 4.0 o digital, que engloba los drones; se establece una cierta familiaridad de lo que pasa al interior de la república mexicana, con lo que pasa con el resto del mundo, como lo comenta Pivoto et al. (2019), en donde menciona que la implementación de la agricultura inteligente no ha sido uniforme para todos los países, y en este caso no ha sido parejo para todos los estados del territorio Nacional.

En los estados que actualmente existe una mayor resistencia a la adopción tecnológica de los drones son Puebla, Hidalgo y los del Sur de México en general. Aunque existen zonas y cultivos como lo es el banano donde los drones se han aceptado de manera exitosa.



Figura 37. Mercado de drones por zonas.

Fuente: Elaboración propia con datos recolectados en campo

En las Figuras 38 y 39 se muestran las principales características de los modelos de negocio de empresas de drones detectadas, empleando el lienzo Canvas que propone (Osterwalder & Pigneur, 2011).

En el primer lienzo que se muestra en la Figura 38, se describen los modelos de negocio de las empresas que son distribuidores directos de DJI. En este se realiza un análisis comparativo con el modelo de negocio en la maquila de servicio con drones.

La propuesta de valor en el modelo de maquila radica en la capacidad de fumigar los cultivos en menor tiempo. Además, uno de los beneficios que obtiene el productor es reducir los costos de insumos agrícolas en la fumigación a través de la precisión. Esto se logra mediante actividades clave del modelo de negocio como, la venta y arrendamiento del dron, así como los servicios de asesoramiento. La interacción con los clientes se establece mediante recomendaciones boca a boca y la persuasión directa en las parcelas.

En contraste, los distribuidores directos de DJI abordan como propuesta de valor, proporcionar soluciones integrales de alta calidad para sus clientes a través del compromiso de estar respaldados por parte de la planta. Este enfoque tiene más

desarrollado la parte de mapeo aéreo y análisis de datos. Además, todos sus pilotos están certificados por un equipo técnico especializado. La promoción principal del equipo es a través de expos agrícolas y mediante la recomendación de clientes que tienen afinidad con la marca. Por ejemplo, el caso de la empresa DIMASUR que está respaldado tanto por la marca John Deere y DJI, lo que les da mayor seguridad a los compradores de drones.

En cuanto la fuente ingresos, también se diferencian estos dos modelos de negocio analizados en el lienzo CANVAS. Por una parte, el negocio de maquila obtiene sus ingresos con el arrendamiento del dron y otras actividades diferentes al giro. Mientras que, el distribuidor DJI se centra directamente en la comercialización de drones y sus respectivos accesorios, siendo estas las principales fuentes de ganancia para el negocio.

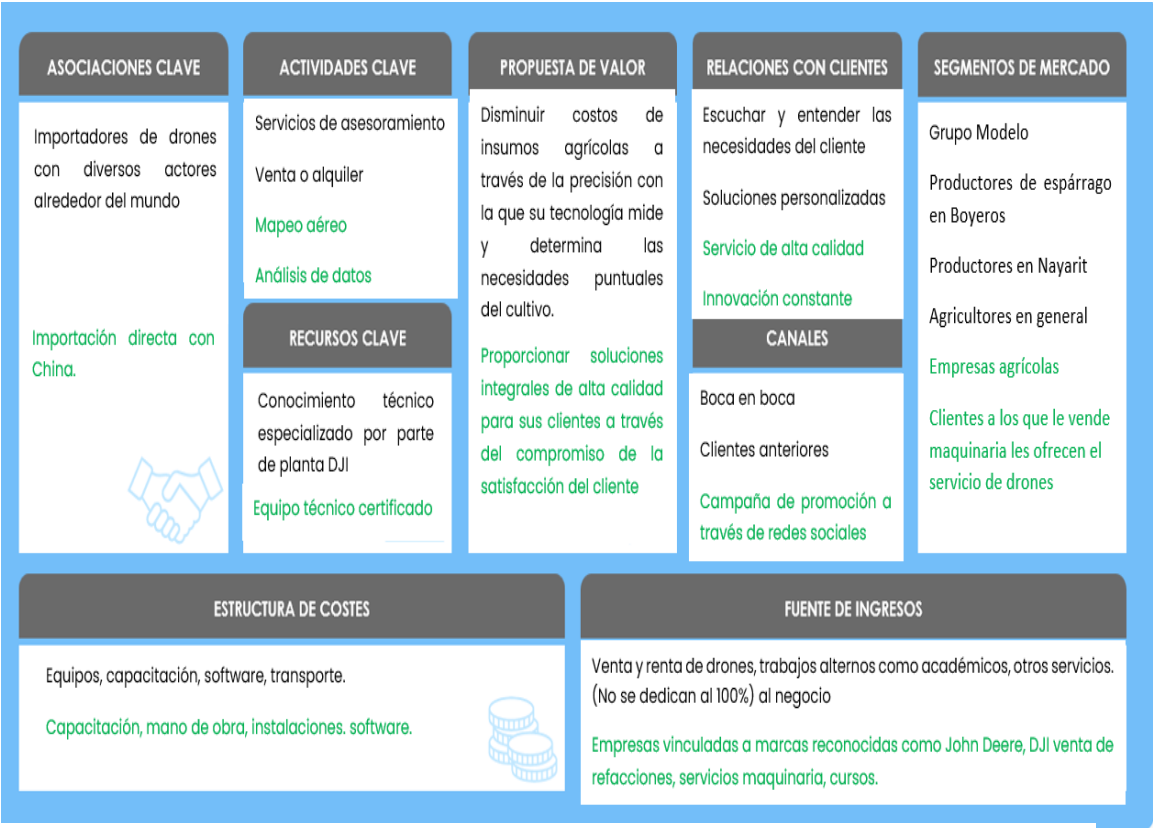


Figura 38. Modelo de negocios de empresas que son distribuidores de drones DJI comparado con el modelo de maquila de fumigación con drones

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 39 se muestra el modelo de negocios de las empresas cuyo enfoque son el servicio de mantenimiento y reparación de drones, así como el modelo integral donde abarca gran cantidad de las actividades que se pueden realizar con drones en la Agricultura.

Dentro del modelo de negocio de mantenimiento y reparación, se hace hincapié en que la propuesta de valor es contribuir con la eficiencia en el agro del país a través de revisiones periódicas en los equipos de agricultura de precisión. Por otro lado, la propuesta de valor del modelo de negocio Integral es ofrecer soluciones de alta calidad a sus clientes tanto en la venta como en la posventa invocando una serie de valores de su empresa.

Servicio de mantenimiento y reparación
 Integral



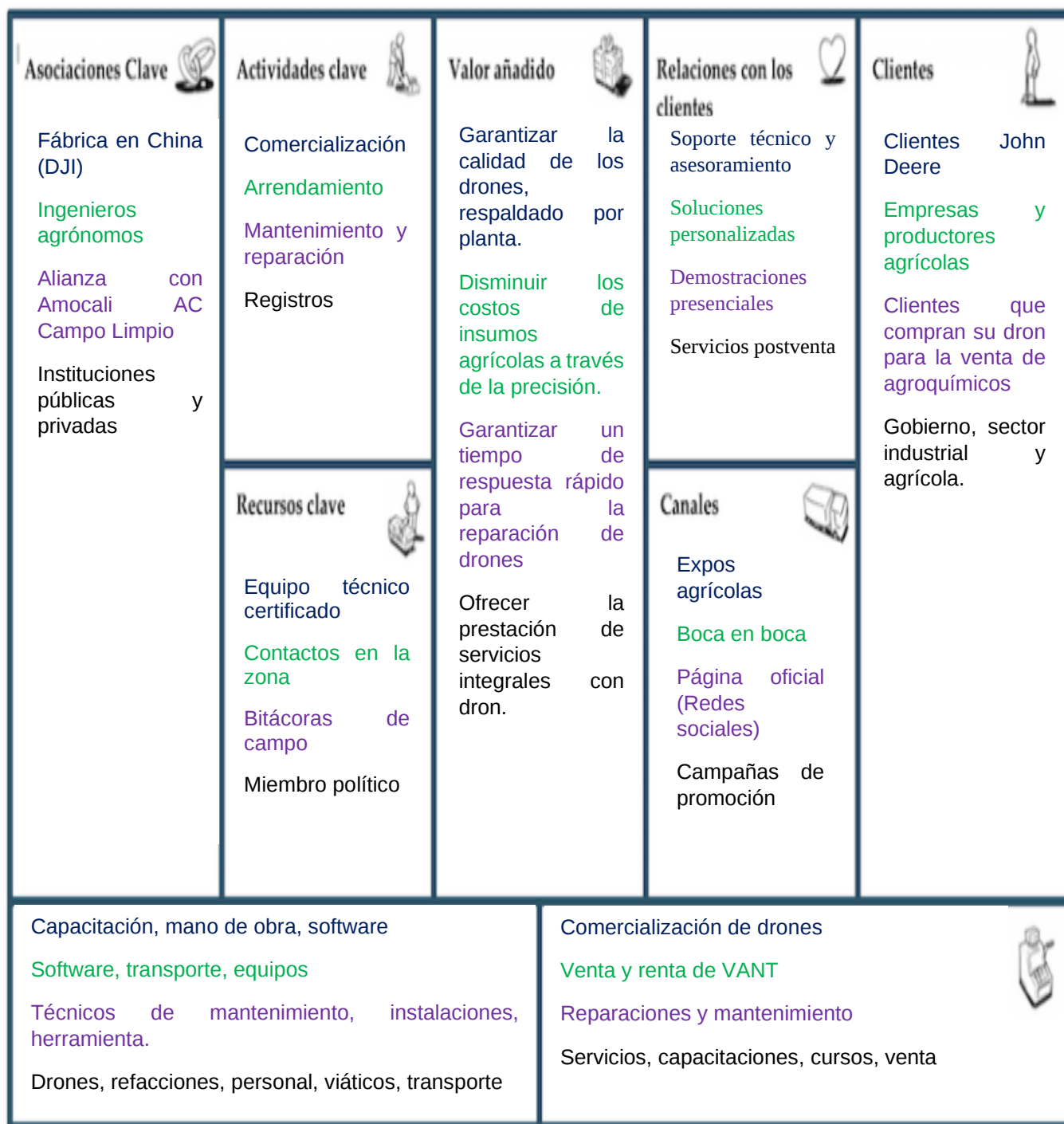
Figura 39. Modelo de negocios de empresas de drones Integral con el modelo de mantenimiento y reparación de drones

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al segmento del mercado, existen ciertas diferencias. Mientras que el sector de mantenimiento y reparación está enfocado a empresas agrícolas, el modelo de negocio integral va dirigido a varios sectores de la industria. Sus principales clientes incluyen empresas como Bayer y proyectos en colaboración con Comisión Federal de Electricidad (CFE).

En estos modelos, es crucial resaltar las asociaciones clave que han impulsado su crecimiento. Entre estas, destacan las instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Ahora bien, en la Figura 40 se muestra el lienzo del modelo CANVAS propuesto por Osterwalder, Alexander & Pigneur (2011), en donde se realiza la comparación de los cuatro modelos identificados de las empresas de drones agrícolas en México.



- Distribuidores de drones DJI
- Maquila de servicio con drones
- Integral
- Servicio de mantenimiento y reparación

Figura 40. Modelo CANVAS drones en la Agricultura en México

Fuente: Elaboración propia

Mediante la información recabada, se construyó el Cuadro 19 donde se semaforiza la adopción de los nueve rubros del modelo CANVAS en cada uno de los modelos de negocio, de acuerdo con la información proporcionada por los sujetos entrevistados.

Cuadro 19. Semaforización de los modelos de negocio con la adopción de los nueve rubros del modelo CANVAS

Modelo de Negocio	Asociaciones clave	Actividades clave	Recursos clave	Propuesta de valor	Relaciones con los clientes
Distribuidor DJI	Alto	Alto	Alto	Moderado	Alto
Fumigación	Moderado	Moderado	Alto	Bajo	Alto
Reparación y mantenimiento	Moderado	Bajo	Moderado	Bajo	Alto
Integral	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

Modelo de Negocio	Canales	Segmentos del mercado	Estructura de Costos	Fuentes de ingreso
Distribuidor DJI	Alto	Alto	Alto	Alto
Fumigación	Moderado	Moderado	Alto	Moderado
Reparación y mantenimiento	Bajo	Moderado	Alto	Moderado
Integral	Alto	Alto	Moderado	Alto

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 20 se estableció un indicador por región Bajío-Norte y Centro-Sur de la aceptación de cada uno de los modelos de negocio descritos en esta investigación, los cuales son: distribuidor DJI, fumigación (maquila del servicio mediante drones), reparación y mantenimiento así como también el modelo Integral.

Cuadro 20. Desarrollo del modelo de negocio por región

Región	Modelo de Negocio			
	Distribuidor DJI	Fumigación	Reparación y mantenimiento	Integral
Bajío-Norte	Alto	Alto	Moderado	Bajo
Centro-Sur	Moderado	Alto	Bajo	Muy Bajo

Fuente: Elaboración propia

En este sentido, se observa que la implementación de drones en la Agricultura está más desarrollada en el modelo de fumigación tanto en la región Bajío-Norte como en la región Centro-Sur. Mientras que el modelo de negocio con menor desarrollo es el Integral, esto se debe a que en este modelo no tiene especialización, es decir, realiza diversas actividades, sacando el máximo potencial a los drones y no solo se enfoca a la parte agrícola sino que también ofrece servicios a la industria.

5.3.1 Modelos de Negocio Emergentes de empresas de drones en la agricultura.

La definición que se ocupó para describir los modelos emergentes se refiere a la interacción que ocurre en las redes, las cuales fomentan la innovación continua en el campo de la agricultura. Esto permite a las empresas identificar nuevas oportunidades y desafíos, lo que a su vez mejora la eficiencia de su modelo de negocio.

En este sentido, el modelo de negocio emergente de empresas de drones en la agricultura en México se basa en la interpretación de datos a través de drones con imágenes multiespectrales, las cuales señalan donde se encuentran las problemáticas en el cultivo. Sin embargo, una limitación de esta tecnología es que no basta con el dron para el análisis; sino que también se requiere una computadora que tenga la capacidad de almacenar e interpretar la gran cantidad de información recopilada por el dron.

Asimismo, se ha observado en estos modelos emergentes, que gracias a la utilización de drones los agricultores y asesores técnicos pueden obtener una idea más clara de cómo se comportan los cultivos. Lo que facilita la toma de decisiones oportunas basadas en la información recopilada, lo que permite aumentar el rendimiento. Este panorama coincide con la investigación de Weisbach et al. (2020) y Maffezzoli et al. (2022), donde se menciona el auge de las tecnologías dentro de la Agricultura 4.0 en los próximos años .

Adicionalmente, la información recabada de los drones en un futuro podría alimentar datos en el tractor del agricultor, para identificar más fácilmente las zonas cultivadas, por ejemplo, de maíz que requieren más nitrógeno, permitiendo que el agricultor actúe rápidamente sobre el problema (Castellano, 2018), previniendo pérdidas económicas causadas por el desconocimiento de esta información.

Es así como el surgimiento de estas empresas emergentes no sólo favorece el desarrollo agroeconómico de un país, sino que también impulsa la sostenibilidad. Lo que representa un paso crucial hacia un futuro agrícola más próspero y equilibrado con el medio ambiente.

5.3.2 Casos de éxito de empresas de drones en la agricultura

Soluciones AUV del Bajío se caracteriza por tener bastante auge en el Bajío. Esto se debe principalmente a que el rubro de la empresa es la venta, soporte técnico, capacitaciones, reparaciones y seguimiento posventa, así como también la

realización de varias aplicaciones de agroquímicos. El crecimiento exponencial de esta empresa se debe a las siguientes razones:

- Asociación en cuanto a capacitaciones con el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.
- Se ofrece un servicio que busca ampliar el mercado y concientizar tanto a los clientes como a los agricultores sobre la reducción en el uso de agua en campo. Por ejemplo, se demuestra que aplicando solo 13 litros por hectárea de agua, se distribuye el agroquímico de manera eficiente, en contraste con los 200 litros de agua que se solía utilizar anteriormente.

Otra de las causas del éxito de este modelo integral es que se observó que en la región del Bajío, la resistencia hacia la adopción de tecnología dron ha disminuido notablemente. Una de las razones de esto radica en el hecho de que en la temporada Otoño-invierno, los cultivos son pequeños, por lo que se dio la oportunidad para que los agricultores empezaran a requerir el servicio. Esto permitió a los productores percibir de manera tangible que los drones son más rápidos y aplican mejor que el tractor, por la facilidad de adentrarse en el terreno, cuando este presenta situaciones complicadas como inundaciones.

En este sentido, AUV del Bajío, es una empresa que se encuentra diversificada, ofrece varios servicios, entre estos se encuentra el cambio de aceite de las bombas, que cae dentro del modelo de negocios de reparación y mantenimiento. La mira de esta empresa considerada como un modelo de negocio integral, es empezar a utilizar los sensores multiespectrales descritos por (Jiménez et al., 2019), así como también realizar aplicaciones con dosificación variable, esto quiere decir que se aplique el producto solo en las partes donde se requiere el agroquímico y no hacer la aplicación a todo el cultivo uniformemente.

De igual manera se está incursionando en la capacitación de un dron Agras T40 con un tanque de sólidos, ya que muchas veces el agroquímico es granular. Otra de sus innovaciones es que esta empresa también cuenta con un centro de reparación oficial de fábrica, la cual tiene poco tiempo de certificación (*training*),

es decir se inauguró en el año 2023, pero es un referente del despegue que está consolidando Soluciones AUV del Bajío.

El enfoque de esta empresa, es la excelencia en el servicio posventa, así como también sus actividades diversificadas: fortalece su compromiso con la satisfacción del cliente, su propuesta de valor y la calidad del producto.

5.3.3 Retos que enfrentan las empresas de drones en la agricultura

Existen diversos desafíos y obstáculos que enfrentan las empresas de drones en la agricultura. En este sentido, la legislación o regulaciones de los drones aún no son muy claras en diversas partes del mundo como lo señala Nairí (2022), lo mismo ocurre en México. Esto puede traer consigo algunas complicaciones futuras en el uso de estos equipos. Tampoco existen normas respecto a la información recabada mediante drones, por lo que una de las grandes preguntas es ¿Quién es dueño de la información?, por lo que actualmente se está trabajando en las regulaciones del uso de estos equipos y de la información que se recaba con ellos.

Es importante señalar que, si bien existen algunas regulaciones con respecto al uso de drones, estas no están específicamente adaptadas para el sector agrícola. Estas normativas están emitidas por la secretaría de telecomunicaciones y por la Dirección General de Aviación (DGA), y se basan más en la concesión de permisos para operaciones con dron en áreas públicas. Por ahora está permitido usar drones agrícolas en lugares privados, es decir en los campos de cultivo, con autorización del cliente y a menos de 100 metros de altura.

En México, debido a la escasez de regulación, todavía no se necesita permiso para operar los drones agrícolas. Sin embargo, se tiene que prever que esta situación puede cambiar. En este contexto, se señala que una de las pocas requisiciones que se aborda en cuanto a la regulación de drones agrícolas, es que se debe aprobar un curso certificado, el cual solicita un mínimo de horas de vuelo.

Otro de los principales retos que enfrentan las empresas de drones en la agricultura (Figura 41) es la adopción y formación de esta tecnología por parte de los productores mexicanos, con especial énfasis en la región Centro-Sur. Existe cierta incertidumbre de la funcionalidad de estos equipos por parte de los agricultores, lo que dificulta su aceptación. Además, asumir los costos iniciales y operativos representa otro desafío, ya que la compra de equipos requiere de una inversión fuerte al ser una tecnología de vanguardia. Los precios de drones agrícolas están en un rango de \$300,000 a \$600, 000 para los diferentes modelos existentes.



Figura 41. Retos de las empresas de drones en el sector agrícola

Fuente: Elaboración propia con datos de campo

Del mismo modo, existe la preocupación sobre la propiedad de los datos que se obtienen a través del dron. Surge el interrogante acerca de si estos datos pertenecen a los dueños de los drones, a las empresas, agricultores o fabricantes. Esta preocupación se enmarca en un contexto social donde se busca promover la ética en la utilización de los datos y mitigar las posibles

repercusiones negativas de las tecnologías emergentes (Klerkx et al., 2019). En este sentido también existe una preocupación muy grande en cuanto a la inseguridad por el uso de drones para otros fines, donde se les dé un uso indebido a estos equipos y sean ocupados para cuestiones de espionaje, por lo que va de la mano con el problema de la regulación para la utilización de estos equipos.

Uno de los desafíos más significativos, como se muestra en la Figura 41, radica en la intensa competencia del mercado, donde cada vez surgen más empresas y modelos de negocio encaminados a ofrecer servicios y comercializar drones. Esto está convirtiendo a los drones en un producto más común en el mercado. En este sentido, las empresas deben de buscar formas de estar innovando, así como también ofrecer propuestas de valor llamativas para el cliente, para que no desaparezcan.

Como se observa aún falta muchos desafíos que enfrentar para la promoción de esta tecnología, sin embargo cada vez más las empresas y gobiernos están tomando cartas en el asunto con miras a que el uso de drones en la agricultura va al alza. Es así, que aunque persisten retos, el creciente interés y compromiso de los actores clave señalan un futuro prometedor para la integración de empresas de drones en el ámbito agrícola.

5.4 Estrategias Modelos de Negocio

Con base en los modelos de negocio hallados y analizados, se proponen las siguientes estrategias para que la tecnología dron sea adoptada en el agro mexicano por todo tipo de productores.

Con el fin de incentivar las herramientas digitales, como se evidenció en la investigación de Vargas-Canales (2022), donde el teléfono celular es la herramienta predominante entre los productores, se propone diseñar una plataforma o aplicación móvil, esta sería elaborada por startups tecnológicas o universidades y centros de investigación. Esta app proporcionará información sobre los beneficios que tiene el usar drones para el manejo de los cultivos,

logrando la promoción de esta tecnología en el campo mexicano. Las personas interesadas en esta aplicación principalmente serían los productores y empresas agrícolas, ya que al tener la información a la mano, serán capaces de mejorar la eficiencia de sus operaciones. De igual manera, resultarían beneficiados las universidades y centros de investigación, ya que podrían acceder a datos valiosos para la investigación y desarrollo, así como también a la sociedad en general ya que se está incentivando a una agricultura más eficiente y sostenible, lo que se verá reflejando en la disponibilidad de alimentos y costos más accesibles a sus bolsillos.

En esta misma aplicación, se plantea presentar los modelos de negocio identificados en esta investigación mediante infografías. Estas, destacarán la importancia de la incorporación de drones en la agricultura y como esto está beneficiando a la proliferación de la agricultura 4.0 y 5.0 en México, así mismo se llevarán los registros de la información tomada con el dron, para contribuir a la toma de decisiones del agricultor.

Por otro lado, de manera interna, se propone que en las empresas analizadas se debe promover el enfoque de los nuevos modelos de empresas de drones en la agricultura. Estos modelos de negocio deben estar comprometidos con enfoques sostenibles y ofrecer propuestas de valor diferenciadas para cada segmento del mercado. Es esencial distinguir entre el mercado de pequeños, medianos y grandes productores, y ofrecer los servicios que mejor se acomoden a las necesidades de cada uno.

En este sentido, una estrategia fundamental es presentar la investigación a los tomadores de decisiones tanto del sector privado como público, con el fin de que este último elabore un plan de política pública. Asimismo, es importante darla a conocer entre actores clave, para que estos la difundan en el sector a través de las redes sociales.

Es importante destacar que actualmente los gobiernos de estados como Guanajuato, así como también de la Ciudad de México, están otorgando apoyos para la adquisición de drones, lo que favorece que se conozca más esta

tecnología por parte de los productores mexicanos. En este sentido, la capacitación se está manejando con un pequeño programa, en el que el distribuidor ganador de la licitación de los drones se encarga de la asesoraría para las personas que manejarán el dron. Con esta iniciativa es posible desarrollar un plan estratégico para la implementación de drones agrícolas que incluya las 32 entidades federativas de la república mexicana, en donde se integre a todo tipo de productores.

Con esto en mente, es importante tener información sobre los modelos de negocio que existen en México, para que se explore y estudie las vastas oportunidades de agronegocio que se pueden generar con el uso de tecnología dron, ya que como lo mencionan Caballero & Santoyo (2019), la tecnología es uno de los indicadores más relevantes que interfieren en los negocios, en cuanto a su posicionamientos y competitividad. Por ende, el empleo de drones como agronegocio es de vital importancia para el sector agrícola mexicano. No obstante, es imperativo tener precaución para evitar prácticas indeseables.

Asimismo, se busca sensibilizar a empresarios, funcionarios y productores mediante capacitación y programas gubernamentales, con el fin de facilitar el acceso a financiamiento para la adquisición de equipos y para proyectar los beneficios agroeconómicos que trae consigo el uso de drones en la agricultura.

En este sentido, en la Figura 42, se proponen cuatro acciones que se deben llevar a cabo para cumplir con el objetivo de realizar mayor difusión de la tecnología dron en México.

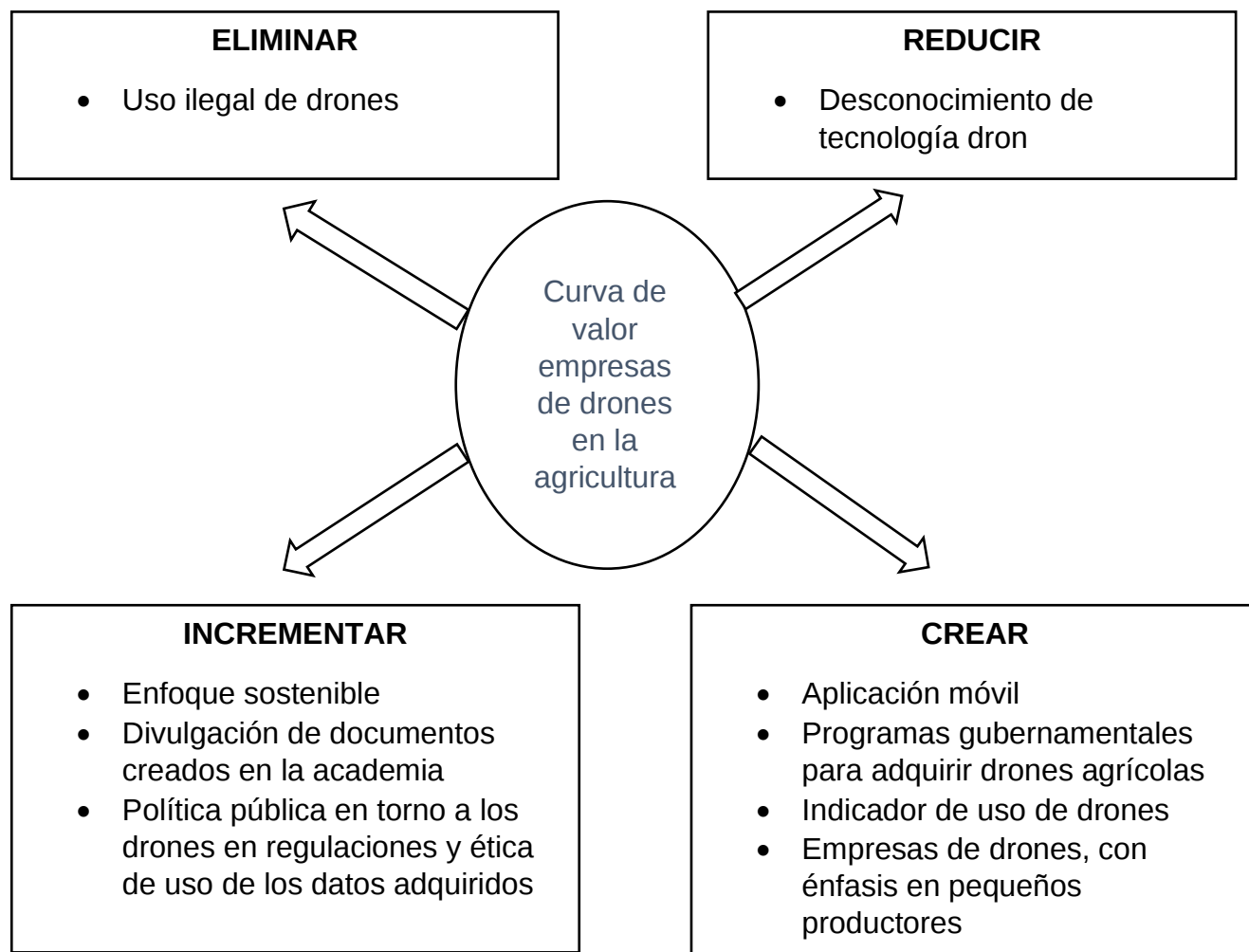


Figura 42. Esquema de las cuatro acciones (Matriz ERIC) para modelos de negocio de empresas de drones en la Agricultura.

Fuente: Elaboración propia

Estas acciones están basadas en el concepto de la matriz ERIC o esquema de las cuatro acciones, extraído del libro “Estrategia del Océano Azul” de Kim & Mauborgne (2011). Esta matriz identifica las características que hay que eliminar, reducir y crear en el ámbito de los drones en la agricultura.

En cuanto al uso ilegal de los drones en la agricultura, podría llegar a convertirse en una limitante para los modelos de negocio. Las empresas podrían enfrentar obstáculos adicionales en la comercialización de los drones debido a preocupaciones legales y regulatorias. Por lo que es crucial que las empresas de drones, autoridades, académicos y agricultores colaboren para establecer las regulaciones claras, promoviendo el uso ético tanto de los drones, como de los datos que se registren con su implementación. Para que esta tecnología tenga un auge como una gran herramienta en el agro mexicano. Por último, para evaluar como el desarrollo de los modelos de negocio identificados están contribuyendo al sector agropecuario, se propone crear un indicador para cuantificar el uso de drones en la agricultura de pequeños, medianos y grandes productores, así como también para medir los efectos sociales, ambientales y educativos que trae consigo la implementación de estos.

6. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los modelos de negocio que se dedican a la venta y renta de drones en la agricultura mexicana, se detectó un aporte significativo para el desarrollo de una estrategia de fomento de tecnología dron en México.

En este sentido, el uso de los drones en la agricultura en México, principalmente en la aplicación de agroquímicos, está ganando una mayor aceptación entre los diversos actores que se encuentran en el medio, tales como: las empresas agrícolas y productores. De igual manera existen otros usos de los drones, entre los que destacan monitoreo de cultivos, mapeo, cartografía y recolección de datos de campo. Implementando un enfoque metodológico mixto como la aplicación de las escalas Likert, entrevistas, encuestas y análisis bibliométrico se proporcionó información detallada del desarrollo de las empresas de drones de en México. En este sentido, se reveló que existe un crecimiento importante de estas empresas en la agricultura mexicana y se están diversificando en los servicios y productos que ofrecen. Asimismo, se identificaron tendencias futuras que apuntan una expansión de uso de drones para fines agrícolas.

Ahora bien, las empresas dedicadas a la comercialización y/o renta de drones en el sector agrícola en México operan una red de valor bien definida entre complementadores, proveedores, clientes e incluso competidores. Asimismo, se encontró que existe interacción entre los diferentes modelos de negocio de drones en la agricultura. Debido a que entre estos hay asociatividad, lo que refleja una interconexión en cuanto a la distribución y comercialización tanto de los drones como de los servicios relacionados. Este análisis permitió identificar áreas de oportunidad para las empresas, tales como la estandarización de los servicios de aplicación de agroquímicos con drones para los negocios dedicados a este rubro, mejorar en la eficiencia de la compra de drones y respectiva distribución, así como también enfatizar en la capacitación para los usuarios finales de los drones en campo.

El enfoque del modelo CANVAS permitió identificar las características, similitudes, diferencias y ventajas competitivas de cada modelo de negocio

analizado. Dentro de las ventajas competitivas identificadas se incluye la capacidad de ofrecer soluciones para cada tipo de cliente, así como también soporte técnico y asociación con empresas grandes como lo es DJI. El análisis permitió identificar que es necesario mejorar la expansión de la red de socios estratégicos en cada modelo de negocio; así como también trabajar en conjunto para el establecimiento de financiamiento para la adquisición de estos equipos por los productores mexicanos. En este sentido el modelo de negocio integral representado por Soluciones AUV del Bajío está siendo muy efectivo al haberse diversificado con la amplia gama de servicios que ofrece.

Basado en el análisis de los modelos de negocios, se plantean estrategias como el diseño de una plataforma o aplicación móvil, en el cual, se presentarán los modelos de negocio identificados en esta investigación mediante infografías, de la misma forma se propone que en las empresas estudiadas se incentive el enfoque de los nuevos modelos de empresas de drones en la agricultura. Estos modelos de negocio deben estar comprometidos con enfoques sostenibles y ofrecer propuestas de valor diferenciadas para cada segmento del mercado, para que de esta forma se más sencilla la difusión de la tecnología dron en el sector agrícola mexicano, impulsando el avance tecnológico, así como también visualizar este tema para la mejora de política pública en el agro, contribuyendo al desarrollo de programas gubernamentales del acceso de tecnología dron para los productores mexicanos.

Es así como, este estudio muestra un panorama general de los modelos de negocio de las empresas de drones en la agricultura mexicana, siendo de gran transcendencia ya que los tomadores de decisiones en el ámbito político, académico y empresarial pueden apreciar las grandes ventajas agronómicas, económicas y de sostenibilidad que trae consigo la implementación de drones en la agricultura.

7.LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Este estudio, así como la colecta de la información estuvo sujeta a las facilidades que otorgaban las empresas para dar información respecto de sus modelos de negocio, por lo que se sugiere que en próximas investigaciones se realice un análisis con características más estadísticas para respaldar la parte cualitativa con la cuantitativa.

El aporte más significativo de este estudio es detectar la red de valor y modelos de negocio que giran en torno al uso de drones en la agricultura en México. Sin embargo, se recomienda hacer un estudio más detallado de índole económico donde se vea reflejado en instrumentos financieros las ventajas agroeconómicas que trae consigo la implantación de drones en la Agricultura.

De igual manera sería muy interesante hacer un estudio de carácter social, más enfocado a los usuarios, en donde, se investigue cuáles son las características de los productores que están adoptando la tecnología dron en sus campos agrícolas y quienes no.

Incluso de los análisis antes descritos, se puede especializar en zonas específicas para ver como es el desarrollo en cada región y por qué se da de ciertas maneras.

8. LITERATURA CITADA

- Acosta-Henríquez, G. F., & Mendoza-Torres, C. M. (2017). *Aplicaciones de los drones en la agricultura* (Vol. 6).
- AESA. (2018). *Agencia Estatal de Seguridad Aérea*. https://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/
- Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., & Namwade, G. (2019). Application of drone in Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(01), 2500–2505. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.264>
- Albiero, D., Leme de Paulo, R., Félix Junior, J. C., Da Silva Gomes Santos, J., & Paula Melo, R. (2020). Agriculture 4.0: a terminological introduction. *Revista Ciencia Agronomica*, 51(5), 1–8. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200083>
- Aranda-Bastida, B. (2021). *Efectos del uso de drones en la Agricultura mexicana: el caso del valle del mezquital*, Hidalgo [Universidad Autónoma Metropolitana]. <https://doi.org/10.24275/uama.4391.7651>
- Bronson, K., & Knezevic, I. (2016). Big data in food and agriculture. *Big Data and Society*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.1177/2053951716648174>
- Caballero-García, M.A. & Santoyo-Cortés, V. H. (2019). *Desafíos, Estrategias Y Modelos De Negocio*. Universidad Autónom Chapingo, CIESTAAM.
- Carayannis, E. G., Barth, T. D., & Campbell, D. F. (2012). The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.1186/2192-5372-1-2>
- CGIAR, & CIAT. (2014). Metodología LINK: Una guía participativa para diseñar, implementar y evaluar modelos de negocio incluyentes con productores a pequeña escala. Versión 2.0. In *Centro Internacional de Agricultura Tropical - Ciencia para cultivar el cambio* (2a. edición).

- Charloq, Thoha, A. S., Putra, D. Y., & Muammar, A. (2023). Unmanned aerial vehicles (UAV) utilization for mapping the health of oil palm plants (*Elaeis guineensis* Jacq.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1241(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1241/1/012072>
- Chesbrough, H. . (2003). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business School Press.
- De Clercq, M., Vats, A., & Biel, A. (2018). Agriculture 4 . 0 : the future of farming technology. In *World Government Summit* (Issue February).
- Delavarpour, N., Koparan, C., Nowatzki, J., Bajwa, S., & Sun, X. (2021). A technical study on UAV characteristics for precision agriculture applications and associated practical challenges. *Remote Sensing*, 13(6), 1–25. <https://doi.org/10.3390/rs13061204>
- Fraser, E. D. G., & Campbell, M. (2019). Agriculture 5.0: Reconciling Production with Planetary Health. *One Earth*, 1(3), 278–280. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.022>
- Gano, B., Dembele, J. S. B., Ndour, A., Luquet, D., Beurier, G., Diouf, D., & Audebert, A. (2021). Using uav borne, multi-spectral imaging for the field phenotyping of shoot biomass, leaf area index and height of west african sorghum varieties under two contrasted water conditions. *Agronomy*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050850>
- García-Puga, Y. (2023). El lienzo de modelo de negocios o modelo CANVAS: herramienta para emprendedores. *Revista Frecosapiens*, 6(1), 2023.
- Ghazali, M. H. M., Azmin, A., & Rahiman, W. (2022). Drone Implementation in Precision Agriculture - A Survey. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12(4), 67–77. https://doi.org/10.46338/ijetae0422_10
- González-Herrera, R., Uca- Navarrete, J. P., Sanchez y Pinto, I., Medina-Escalante, R., Árcega-Cabrera, F., Zetina-Moguel, C., & Casares-Salazar, R.

- (2019). Drones. Aplicaciones en ingeniería civil y geociencias. *Asociación Interciencia Venezuela*, 44(6), 326–331.
- Guevara-Bonilla, M., Meza-Leandro, A. S., Esquivel-Segura, E. A., Arias-Aguilar, D., Tapia-Arenas, A., & Masís Meléndez, F. (2020). Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTS) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. *Revista Tecnología En Marcha*, 33, 77–88. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i4.4528>
- IDB Invest. (2022). *Digital Transformation in Agribusiness in Latin America and the Caribbean*.
- INEGI. (2022). *Censo agropecuario 2022*. 1–62.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>
- Ipsos Business Consulting. (2017). *Commercial Drone Adoption in Agribusiness*. <http://www.ipsosconsulting.com/pdf/Ipsos-Business-Consulting-Commercial-Drone-Adoption-in-Agribusiness.pdf>
- Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., & Marcial-Pablo, M. de J. (2019). Información De Drones Y Su Análisis En La Agricultura De Precisión. *Quinto Congreso Nacional COMEII*, 2–14. www.riego.mx
- Khuimphukhieo, I., Marconi, T., Enciso, J., & da Silva, J. A. (2023). The use of UAS-based high throughput phenotyping (HTP) to assess sugarcane yield. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11(November 2022), 100501. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100501>
- Kim, D., Jeong, S., Kim, B., Kim, S. J., Kim, H., Jeong, S., Yun, G. Y., Kim, K. Y., & Park, K. (2023). Automated Detection of Rice Bakanae Disease via Drone Imagery. *Sensors*, 23(1). <https://doi.org/10.3390/s23010032>
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–

- 91(November), 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Losada, J. C. (2014). *De la honda a los drones* (Vol. 2).
- Maffezzoli, F., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., & Renga, F. (2022). Agriculture 4.0: A systematic literature review on the paradigm, technologies and benefits. *Futures*, 142(July), 102998. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102998>
- Misra, N. N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., & Martynenko, A. (2022). IoT, big data, and artificial intelligence in Agriculture and food industry. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(9), 6305–6324. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2998584>
- Mogili, U. R., & Deepak, B. B. V. L. (2018). Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>
- Montes-Colmenares, O. R. (2020). Uso de Drones en el Sector Agrícola, Forestal y Agroforestal. *INTAGRI. Serie Fitosanidad, Núm. 125. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. ., August*, 6 p.
- Nairí, T. (2022). La industria de los drones en Argentina: Oportunidades para su desarrollo. *Argentina Productiva*, 33, 1–58.
- Nalebuff, B. J., & Brandenburger, A. (2005). *Coo-petencia*.
- Newth, F. (2012). Bussiness Models and Strategic Managment: A new integration. *New York: Bussiness Expert Press*.
- Obiero, K. O., Waidbacher, H., Nyawanda, B. O., Munguti, J. M., Manyala, J. O., & Kaunda-Arara, B. (2019). Predicting uptake of aquaculture technologies among smallholder fish farmers in Kenya. *Aquaculture International*, 27(6), 1689–1707. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00423-0>
- OECD/Eurostat. (2018). Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. In *The Measurement of Scientific;*

Technological and Innovation Activities.

- Ojeda-Bustamante, W., González-Sánchez, A., Mauricio-Pérez, A., & Flores-Velázquez, J. (2017). Aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados en la ingeniería hidroagrícola. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(4), 157–166. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-10>
- Oliveira, J. P. de, Oliveira, A. L. F., Souza, H. M. de, Araújo, I. V. dos S., & Nuñez, D. N. C. (2024). Determination of height in corn (*Zea mays* L.) crops through the use of images produced by UAVs. *Brazilian Journal of Science*, 3(3), 34–41. <https://doi.org/10.14295/bjs.v3i3.519>
- Opio, C., & Sangoluisa-Rodríguez, P. (2015). Innovaciones en el sector ganadero. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* (Vol. 3, Issue April). <https://doi.org/10.4060/cc0876es>
- Osinga, S. A., Paudel, D., Mouzakis, S. A., & Athanasiadis, I. N. (2022). Big data in agriculture: Between opportunity and solution. *Agricultural Systems*, 195(2021), 103298. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103298>
- Osterwalder, Alexander & Pigneur, Y. (2011). Generación de modelos de negocio. *Nucl. Phys.*, 13(1), 104–116.
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2011). Generación de modelos de negocio. *Nucl. Phys.*, 13(1), 104–116.
- Palimariciuc, M. (2022). *Nuevo modelo de negocio de una empresa de servicios con drones.*
- Pathak, H., Kumar, G., Mohapatra, S. D., Gaikwad, B. B., & Rane, J. (2020). Use of Drones in Agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs. *ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management*, 300, 13.
- Pino, E. (2019). Drones a tool for efficient agriculture: A high-tech future. *Idesia*, 37(1), 75–84. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>

- Pivoto, D., Barham, B., Waquil, P. D., Foguesatto, C. R., Corte, V. F. D., Zhang, D., & Talamini, E. (2019). Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. *International Food and Agribusiness Management Review*, 22(4), 571–588. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2018.0086>
- Porter. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*.
- Porter, M. E. (2011). ¿Que es la estrategia? *Harvard Business Review*.
- Pranaswi, D., Jagtap, M. P., Shinde, G. U., Khatri, N., Shetty, S., & Pare, S. (2024). Analyzing the synergistic impact of UAV-based technology and knapsack sprayer on weed management, yield-contributing traits, and yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) for enhanced agricultural operations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 219(March), 108796. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108796>
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198(December 2021), 107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>
- Ren, Q., Zhang, R., Cai, W., Sun, X., & Cao, L. (2020). Application and development of new drones in Agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 440(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/5/052041>
- Ríos-Hernández, R. (2021). Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la Agricultura de precisión. *Ingeniería Agrícola*, 11(4), 74–84.
- Sassu, A., Gambella, F., Ghiani, L., Mercenaro, L., Caria, M., & Pazzona, A. L. (2021). Advances in unmanned aerial system remote sensing for precision viticulture. *Sensors (Switzerland)*, 21(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/s21030956>
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum.

- Siddharth, D., Saini, D. K., & Kumar, A. (2021). Precision Agriculture With Technologies for Smart Farming Towards Agriculture 5.0. *Unmanned Aerial Vehicles for Internet of Things (IoT)*, October 2016, 247–276. <https://doi.org/10.1002/9781119769170.ch14>
- Stanton, W., Etzel, M., & Walker, B. (2013). Fundamento de Marketing. In *Decimocuarta Edicion*.
- Stavrakoudis, D., Katsantonis, D., Kadoglidou, K., Kalaitzidis, A., & Gitas, I. Z. (2019). Estimating rice agronomic traits using drone-collected multispectral imagery. *Remote Sensing*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/rs11050545>
- Taramuel-Taramuel, J. P. (2024). *Precision agriculture in avocado production: Mapping the landscape of scientific and technological developments*. 18(2), 1–27.
- Vargas-Canales, J. M. (2022). El sector agroalimentario mexicano y las nuevas tecnologías. *Revista E-Agronegocios*, 8(2), 89–113. <https://doi.org/10.18845/ea.v8i2.6156>
- Vargas-Ramírez, N., & Paneque-Gálvez, J. (2020). Regulatory challenges for community use of drones in Mexico. *Investigaciones Geográficas*, 102. <https://doi.org/10.14350/rig.60007>
- Vaska, S., Massaro, M., Bagarotto, E. M., & Dal Mas, F. (2021). The Digital Transformation of Business Model Innovation: A Structured Literature Review. *Frontiers in Psychology*, 11(January). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.539363>
- Weisbach, M., Fechtner, H., Popp, A., Spaeth, U., & Schmuelling, B. (2020). Agriculture 4.0 -A state of the art review focused on electric mobility. *Revista Ciencia Agronomica*, 51(5), 2–9. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200103>
- Zhang, C., Valente, J., Kooistra, L., Guo, L., & Wang, W. (2021). Orchard management with small unmanned aerial vehicles: a survey of sensing and

analysis approaches. In *Precision Agriculture* (Vol. 22, Issue 6). Springer US.
<https://doi.org/10.1007/s11119-021-09813-y>

9. APÉNDICES

9.1 Apéndice 1. Matriz de Congruencia

Objetivos generales	Preguntas de investigación	Marco teórico	Hipótesis	Variables
Identificar los usos y aplicaciones de los drones en el sector agrícola con mayor grado de adopción en México. 1. Describir a los distintos actores de la red y su función en la adopción de tecnología concerniente a la Agricultura 4.0 y 5.0 2. Caracterizar a los productores, empresas y académicos que han estado relacionados con los términos de Agricultura digital.	¿Qué uso se da a los drones en la agricultura en México y en el mundo? ¿Los modelos de negocios de las empresas de drones en la agricultura están familiarizados con el término de Agricultura 4.0? ¿Cuál es la perspectiva de los empresarios, investigadores y usuarios en cuanto al uso de los drones en el sector agroalimentario en México?	-Agricultura 4.0 (Albiero, D., Leme de Paulo, R., Félix Junior, J. C., da Silva Gomes, J., & Melo, R. P., 2020; Pino, 2019; Weisbach et al., 2019). -Agricultura 5.0 (Siddharth, D.; Kumar, D. & Kumar, A., 2021; Fraser, E. & Campbell, M., 2019) -Big data (Lezoche, M. et al, 2020; Osinga, S et al, 2022; Bronson, K. & Knezevic, I., 2016)	Nivel descriptivo 1. La adopción de tecnología dron en la agricultura está conformado por distintos actores, su relación condiciona la difusión de esta innovación tecnológica entre los productores, empresas y centros de investigación.	Tipo de Actores (Hipótesis 1) -Función que desempeña el actor dentro de la red en el uso de drones (piloto, académico, productor) -Dueño de drones Atributos del Productor (Hipótesis 1 y 2) -Tipo de productor (pequeño, mediano, grande) -Edad -Escolaridad -Capacidad técnica -Experiencia manejando drones -Número de interacciones que se dan entre los diversos actores Características tecnológicas (Hipótesis 1 y 2) -Acceso a Internet -Marcas de drones -Complejidad -Ventaja relativa -Capacitación Adopción (Hipótesis 1 y 2) -Nivel de adopción tecnológica -Conocimiento de conceptos -Manejo técnico -Frecuencia con que usa el servicio de drones. -Tiene regulaciones.
Distinguir la estructura de la red de valor involucrada en la adopción de innovación tecnológica de la Agricultura digital (drones) en México. 1. Analizar las variables de la adopción de innovación de la Agricultura 4.0 y 5.0 en el sector agrícola en México. 2. Realizar el análisis gráfico, así como también de indicadores de la red de la perspectiva de los drones en la agricultura y de colaboración de los productores mexicanos, empresas que imparten el servicio de drones e instituciones que utilizan los drones para manejo agrícola.	¿Qué rubros son necesarios impulsar para ampliar el uso de drones en el sector agrícola? ¿Cómo es la interacción entre competidores, complementadores, proveedores y clientes en las empresas que venden y rentan drones con fines agrícolas? ¿Cuáles son las ventajas competitivas que ofrece cada uno de los modelos de negocio de drones en la agricultura? ¿Cuál es la propuesta de valor de estas empresas?	-Drones (Ríos-Hernández, 2021; Ahiwar et al., 2019, Ren et al., 2020; Acosta, 2017). -El sector agroalimentario mexicano y las nuevas tecnologías (Vargas-Canales, 2022). -Adopción tecnológica (Raj et al., 2021; Marak 2019, Oslo Manual 2018, Obiero et al., 2019). -Redes de innovación (Rendón & Aguilar, 2003; Aguilar-Gallegos et al., 2017; Muñoz-Rodríguez et al., 2014). -Difusión de innovaciones (Rogers, 2010; Díaz-José et al., 2013, Muñoz Rodríguez et al., 2007).	Nivel analítico 2. Si se caracteriza de manera detallada la estructura de la red de valor de las empresas dedicadas a la comercialización y/o renta de drones en el sector agrícola en México, entonces se obtendrá una comprensión profunda de los procesos de producción, distribución y comercialización facilitando la identificación de áreas de mejora. 3. Los principales modelos de negocio se diferencian por el servicio que ofrecen y los clientes con los que se relacionan levantando como bandera que si se utilizan los drones en la agricultura hay una mayor reducción de costo y tiempo.	Características tecnológicas (Hipótesis 1 y 2) -Acceso a Internet -Marcas de drones -Complejidad -Ventaja relativa -Capacitación Adopción (Hipótesis 1 y 2) -Nivel de adopción tecnológica -Conocimiento de conceptos -Manejo técnico -Frecuencia con que usa el servicio de drones. -Tiene regulaciones.
Plantear estrategias que permitan que la tecnología dron en el ámbito agrícola sea conocida e implementada en mayor grado en México.	¿Qué estrategias se deben implementar para que la tecnología dron en la agricultura tenga mayor aceptación por parte de los diversos actores de la quintuple hélice?		Nivel prospectivo 6. Al identificar los factores que determinan el nivel de adopción de determinados actores, estos se pueden replicar para realizar estrategias que permitan la difusión de la tecnología dron en México.	Innovación (Hipótesis 2 y 3) -Red técnica -Año de adopción de la innovación -Red de colaboración

9.2 Apéndice 2. Instrumento de colecta de datos

Los instrumentos de colecta que se han diseñado y se proponen son los que se presentan a continuación:



Universidad Autónoma Chapingo
Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas
de la Agroindustria y la Agricultura Mundial
Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial



Instrucciones: Llene los datos solicitados en la siguiente entrevista. Los datos recolectados de esta entrevista son confidenciales y de uso exclusivo para la investigación.

Objetivo: Conocer la red de actores clave que ocupan drones para actividades agrícolas.

Instrumento 1. Entrevista a empresas que ofrecen el servicio de drones

1. ¿Cuál es su nombre?
2. ¿Me podría compartir su escolaridad? ¿De qué escuela egresó?
3. ¿Cuál es el nombre y dirección de la empresa en la que trabaja?
4. ¿A qué se dedica su empresa? ¿En qué año comenzó?
5. ¿Por qué decidió meterse en el giro de los drones en la Agricultura?
6. ¿Qué servicios ofrecen a los agricultores?
7. ¿Cuáles son los municipios donde ha ido a implementar los drones?
8. ¿Cuáles son los cultivos más comunes que requieren los servicios de drones?
9. ¿Cuáles son las marcas y modelos que se manejan en la empresa?
10. ¿Cuál modelo es el más vendido?
11. ¿Cuál es el dron que ofrece más rendimiento por ha?
12. ¿Cuál es el modelo que se ocupa más cuando van a realizar un servicio?
13. ¿Ustedes se rigen bajo alguna norma de aeronáutica? ¿o eso aún no está regulado?
14. ¿Tiene pilotos certificados? ¿Qué se requiere para obtener una certificación?
15. ¿Reciben o dan capacitación constante en el uso de drones?
16. ¿Quién es su proveedor o proveedores?
17. ¿A quién le vende sus productos o servicios?
18. ¿Cómo es el contacto con sus clientes?
19. ¿Tiene contacto con otras empresas o instituciones que ofrecen estos servicios? ¿Existe algún tipo de alianza?
20. Sabe usted ¿Cuáles son los beneficios antes y después de usar el dron?

21. ¿Con la implementación de los drones conoce más o menos cuánto es la producción de tonelada por hectárea?
22. En su experiencia ¿para que los agricultores tengan acceso a esta tecnología ellos deben estar en algún programa, les rentan los drones o cómo es que ellos adquieren esta ayuda?
23. ¿Cuáles son las dificultades que ha percibido en este sector? Mencione las 3 problemáticas más importantes que ha detectado.
24. Piensa que estas tecnologías se van a integrar con mayor fuerza en la agricultura en años venideros?
25. ¿Qué se necesita para tener una empresa de drones en la agricultura?

Pues eso sería todo, le agradezco el tiempo brindado.

9.3 Apéndice 3. Cédula de empresa dedicadas a la venta y servicio de drones en la Agricultura

Universidad Autónoma Chapingo



Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas
de la Agroindustria y la Agricultura Mundial
Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial

Instrucciones: Llene los datos solicitados en la siguiente encuesta. Los datos recolectados de esta encuesta son confidenciales y de uso exclusivo para la investigación.

Objetivo: Conocer la red de actores de empresarios que ocupan drones para actividades agrícolas

Instrumento 2 Cédula de empresas dedicadas a la venta y servicio de drones en la agricultura

1. Identificación

Fecha de encuesta: / / (dd/mm/aaaa)

Información de la empresa

Nombre de la empresa	Año de inicio con la empresa	Años que se ha dedicado a esta actividad

Ubicación

Estado	Municipio	Localidad	Dirección

Servicios

Servicio Posventa

☐ Venta ☐ Fumigación ☐ Análisis de datos ☐ Fotogrametría ☐ Monitoreo del cultivo	☐ Mantenimiento ☐ Reparaciones ☐ Refacciones ☐ Capacitación para productores
--	---

Tipo de dron

Marcas	Modelos	Rendimiento (litro/ha)	Superficie
☐ DJI ☐ Yamaha ☐ XAG	☐ Agras T10 ☐ Agras T20 ☐ Agras T30 ☐ Agras T40		

2.Red social y comercial

¿Quién es su proveedor o proveedores?	
¿A quién le vende sus productos o servicios?	
¿Tiene contacto con otras empresas que ofrecen estos servicios?	
¿Tiene pilotos certificados?	

3.Tecnología y Redes de Innovación

Innovación	¿De quién aprendió?	Año
1.Uso de TICS		
2.Certificación para pilotos de drones		
3.Fumigación con drones		
4.Análisis de datos		
5.Fotogrametría		
6.Acceso al mercado		

Empresa/Persona: _____ Encuestador: _____
Supervisó _____ Capturó: _____

Proyecto de Investigación registrado en la Universidad Autónoma Chapingo.
Estudiante de Maestría. Mayte Arely López Santín. Correo: arely.lopez@ciestaam.edu.mx Tel Cel. 461 108 1402
Director de Proyecto de Investigación: Dr. Jorge Aguilar Correo: jaguilar@ciestaam.edu.mx

9.4 Apéndice 4. Instrumento de colecta escala tipo Likert



Universidad Autónoma Chapingo

Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas
de la Agroindustria y la Agricultura Mundial
Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial



Instrucciones: Llene los datos solicitados en la siguiente encuesta. Los datos recolectados de esta encuesta son confidenciales y de uso exclusivo para la investigación.

Objetivo: Cuantificar los desafíos y perspectivas del estado actual del negocio de los drones en la agricultura mediante la aplicación de una escala tipo Likert

Instrumento 3. Percepción sobre la efectividad y relevancia de los diferentes modelos de negocio de empresas de drones en el sector agrícola en México.

En su opinión, señale el grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones. Si no tiene elementos, señale con una X.

Nombre:		Dependencia/empresa:
Estado:	Correo electrónico:	Cargo:

Aspecto	1	2	3	4	5
1. La venta y/o renta de drones agrícolas es efectivo para satisfacer las necesidades de los agricultores					
2. El modelo de negocio basado en servicios de monitoreo y análisis de cultivos con drones es valioso para los agricultores					
3. La capacitación y consultoría para el uso de drones en la agricultura agrega valor a los productores					
4. La provisión de servicios de mapeo y topografía con drones es beneficioso para los agricultores					
5. Los proveedores de drones son ideales					
6. La aplicación de tecnologías de pulverización y fumigación de drones es efectiva en la agricultura					
7. El modelo de negocio basado en la recopilación y análisis de datos agrícolas mediante drones ayuda a mejorar la toma de decisiones en la agricultura					
8. La calidad actual de los servicios de fumigación con dron es adecuada					
9. Tomando en cuenta que el costo actual del servicio de drones esta entre \$400-\$500/ha aproximadamente consideras que es accesible					
10. Existe competencia en la venta y/o servicio de drones					
11. Con la implementación de drones en la agricultura existe mayor posibilidad de integración de todo tipo de productores (pequeños, mediano y grandes)					
12. Escribe tres palabras que describan el futuro de los drones en la agricultura					
13. Escribe tres palabras que describan cosas negativas de los drones en la agricultura					

Estudiante de Maestría. Mayte Arely López Santín. Correo: arely.lopez@ciestaam.edu.mx Tel Cel. 461 108 1402