



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES

DESARROLLO TECNOLÓGICO EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN:
PERSPECTIVAS PARA MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN POLÍTICA Y GESTIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

PRESENTA

JOSÉ GUADALUPE ARREGUÍN JIMÉNEZ

DIRECTORES

DR. ALEJANDRO BARRAGÁN OCAÑA

DR. GERARDO REYES RUIZ

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2019



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 11:00 horas del día 6 del mes de noviembre del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIECAS para examinar la tesis titulada: DESARROLLO TECNOLÓGICO EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN: PERSPECTIVAS PARA MÉXICO

Presentada por el alumno:

Arreguín Jiménez José Guadalupe
Apellido paterno Apellido materno Nombre(s)
Con registro:

B	1	7	0	7	2	9
---	---	---	---	---	---	---

Maestría en Política y Gestión del Cambio Tecnológico

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Alejandro Barragán Ocaña

Dr. Gerardo Reyes Ruiz

Dr. Rubén Oliver Espinoza

Dr. Humberto Merritt Tapia

Dr. Federico Andrés Stezano Pérez

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dra. Hortensia Gómez Viquez



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES
ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS
Y SOCIALES



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la CDMX, el día 11 del mes de octubre del año 2019, el que suscribe José Guadalupe Arreguín Jiménez alumno del Programa de Maestría en Política y Gestión del Cambio Tecnológico, con número de registro B170729, adscrito al Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales (CIECAS), manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección del Dr. Alejandro Barragán Ocaña y el Dr. Gerardo Reyes Ruiz y cede los derechos del trabajo titulado **“Desarrollo Tecnológico en Agricultura de Precisión: perspectivas para México”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jarrenez@gmail.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

José G. Arreguín J.

José Guadalupe Arreguín Jiménez

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales (CIECAS) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) por su patrocinio y apoyo para la realización de mis estudios de maestría.

A todos los profesores de la maestría y, en particular, a mis directores de tesis:

Dr. Alejandro Barragán Ocaña y Dr. Gerardo Reyes Ruiz por su guía invaluable, tiempo, consejos y paciencia.

Asimismo, a los profesores investigadores que forman parte de mi comité tutorial:

Dr. Rubén Oliver, Dr. Federico Stezano, Dr. Humberto Merritt y a la Dra. Katya Luna.

A mis padres, por guiarme y apoyarme de manera incondicional.

Dedicatorias

A Rafael Arreguín y Josefina Jiménez

Por darme la vida. Por ser los mejores padres que pude haber tenido,

Este logro es en su memoria.

A Ciri, por su apoyo y comprensión en todo momento.

A mis hijos, David Saúl y Josué Germán.

CONTENIDO

Índice de tablas	VIII
Índice de figuras	IX
Índice de gráficas	X
Glosario de términos	XI
Acrónimos	XIII
Resumen	XIV
Abstract	XV
Introducción	1
Justificación	6
Problema de investigación	11
Objetivo general	12
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL	13
1.1 Desarrollo tecnológico	13
1.2 Tecnologías agrícolas en el mundo	16
1.3 Desarrollo de la agricultura de precisión en el contexto nacional e internacional	28
1.4 Adopción de las tecnologías de precisión en México y en el mundo	32
1.5 Innovación y cambio tecnológico	36
1.6 Aprendizaje tecnológico	39
1.7 Capacidades tecnológicas	41
1.8 Sistema de patentes y propiedad industrial	43
1.9 Derechos de propiedad intelectual en la agricultura	44
1.10 Patentes como indicadores	47
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	48
2.1. Agricultura de precisión	48
2.2 Técnicas utilizadas en la agricultura de precisión	50
2.3 Etapas de la agricultura de precisión	55
2.4 Problemas genéricos relacionados con la adopción de la AP	56
2.5 Política y gestión tecnológica	59
2.6 Planeación tecnológica	60
2.7 Mapas de ruta tecnológica	62
2.8 Mapeo de rutas tecnológicas	64
2.9 Tipología de mapas de ruta tecnológica	65

2.10 Formato para mapas de ruta tecnológica	67
2.11 Proceso de mapeo de ruta tecnológica	68
CAPÍTULO III METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUTA TECNOLÓGICO	70
3.1. Metodología para la elaboración del MRT	71
3.2 Fuentes de información	73
3.3 Capas de tecnología y producto (estrategia de búsqueda)	74
3.4 Capa de tendencias	75
3.5 Capa de entorno	76
CAPÍTULO IV RESULTADOS DE PRODUCTO, TECNOLOGÍA, TENDENCIAS Y ENTORNO PARA LA TRAYECTORIA TECNOLÓGICA	77
4.1 Resultados para la capa de producto y tecnología	77
4.2 Indicadores de patentes	78
4.2.1 Mapas de palabras	78
4.2.2 Principales temas	81
4.2.3 Áreas tecnológicas líderes	81
4.2.4 Ruta de evolución del conocimiento	82
4.2.5 Principales productos	83
4.3 Indicadores bibliométricos	83
4.3.1 Resultados de las búsquedas en las bases de datos relevantes: Scopus	83
4.4 Resultados para la capa de tendencias	90
4.4.1 Resultados para la capa de tendencias situación internacional	90
4.4.2 Resultados para la capa de entorno	91
4.5 Mapa de ruta tecnológico (trayectoria tecnológica), análisis y discusión.	92
4.5.1 Metodología MRT	92
4.5.2. Principales hallazgos por capa	92
4.5.2.1 Producto y tecnología	92
4.5.2.2 Entorno	93
CONCLUSIONES	98
Temas para futuras investigaciones	103
Referencias bibliográficas	104
Anexos	111

ÍNDICE DE TABLAS

1. Conceptualización de la innovación	13
2. Aspectos vinculados a procesos innovadores	14
3. Evolución del uso de herramientas y máquinas en la agricultura	17
4. Tecnologías para la agricultura digital	26
5. Monitores de rendimiento en Agricultura de Precisión	35
6. Tipología de regiones agrícolas de precisión	57
7. Objetivos clave, barreras para la adopción y tópicos de investigación por tipología	58
8. Resultados de las búsquedas de patentes	78
9. Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con “Agricultura de Precisión”	91
10. MRT para la agricultura de precisión, análisis y discusión	93

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Modelo por etapas de la Innovación Tecnológica	16
2. Mapa de red para “Agricultura de precisión”	79
3. Resultado del análisis de los títulos de patentes	80
4. Resultados de la búsqueda de patentes por tema	81
5. Cantidad de artículos publicados (1994-2019)	84
6. Búsqueda por tema “precision agriculture” or “precision farming” (últimos resultados)	85
7. Resultados por relevancia para el tema “precision agriculture” or “precision farming”	86
8. Resultados ordenados por palabras clave: “agriculture” and “innovation” (últimos resultados)	87
9. Resultados ordenados por palabras clave: “agriculture” and “Technology” (últimos resultados)	88
10. Relación de la agricultura de precisión con diversos temas	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

1. Cultivos anuales. Superficie cultivada a cielo abierto	19
2. Cultivos anuales. Producción a cielo abierto	19
3. Cultivos perennes. Superficie cultivada a cielo abierto	20
4. Cultivos perennes. Producción a cielo abierto	21
5. Porcentaje de superficie agrícola por disponibilidad de agua	21
6. Sistema de irrigación utilizado	22
7. Porcentaje de unidades de producción con agricultura a cielo abierto por tipo de tecnología agrícola empleada	23

GLOSARIO

- AGRICULTURA** “Conjunto de técnicas y conocimientos para cultivar la tierra. Los dos objetivos fundamentales para practicar esta actividad son: a) obtener los mayores rendimientos y b) devolver los nutrientes a las plantas” (SAGARPA, 2015, pág. 50).
- AGRONOMÍA** “Ciencia que estudia la práctica de la agricultura, definida como el conjunto de conocimientos aplicables al cultivo de la tierra” (SAGARPA, 2015, pág. 50).
- DESARROLLO TECNOLÓGICO** “Comprende la utilización de distintos conocimientos científicos para producir materiales, dispositivos, procedimientos, sistemas o servicios nuevos o mejorados de manera sustancial. Su primer objetivo consiste en lanzar al mercado una novedad o una mejora concreta” (Escorsa & Valls, 2005, pág. 20).
- EMPRESA DE BASE TECNOLÓGICA** “Son empresas de no más de 25 años de edad que se basan en la explotación de una innovación o invención que implique un riesgo tecnológico sustancial” (Storey & Tether, 1998a, pág. 934). “Organización productora de bienes y servicios comprometida con el diseño, desarrollo y producción de nuevos productos y/o procesos de fabricación innovadores a través de la aplicación sistemática de conocimientos técnicos y científicos” (Conacyt, 2019).
- INNOVACIÓN AGRÍCOLA** “Es el proceso mediante el cual individuos u organizaciones ponen en uso productos, procesos o formas de organización – nuevas o existentes- por primera vez en un contexto específico” (FAO, 2019, pág. 1) (FAO, 2019).

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

“La innovación es tecnológica cuando tiene que ver con la ciencia y la tecnología. “Es un tipo de innovación que se distingue por una mejora o novedad en las características del desempeño de los productos o servicios, y su aplicabilidad en práctica dependerá del grado en que dichas características y su grado de novedad sean un factor importante en las ventas de una empresa o industria concerniente”. Supone para la empresa la introducción de un cambio técnico en los productos o procesos” (Escorsa y Valls, 2005, pág. 23).

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Son mecanismos apropiados que permitirán a la población y a sus dirigentes de forma conjunta, participar en la búsqueda de consensos sociales y disminuir las brechas (Mohammed, 2019).

PARADIGMA TECNOLÓGICO

“Es una “perspectiva”, un conjunto de procedimientos, una definición de los problemas “relevantes” y del conocimiento específico relacionado con su solución. Cada paradigma tecnológico define su propio concepto de “progreso” basado en sus compensaciones tecnológicas y económicas específicas” (Dosi, 1982, pág. 148).

TECNOLOGÍA

“Es la aplicación práctica del conocimiento científico o de ingeniería a la concepción, desarrollo o aplicación de productos u ofertas, procesos u operaciones. La tecnología se trata de saber cómo aplicar el conocimiento” (Floyd, 1997, pág. 1). También se define como el “Conjunto de conocimientos tanto directamente “prácticos” (relacionados con problemas y dispositivos concretos) como “teóricos” (pero prácticamente aplicables, aunque no necesariamente ya aplicados), conocimientos, métodos, procedimientos, experiencias y fracasos y, por supuesto, dispositivos y equipos físicos” (Dosi, 1982, pág. 151 y 152).

ACRÓNIMOS

ADPIC	(TRIPS) Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados con el Comercio.
CIP	Clasificación Internacional de Patentes.
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
DPI	Derechos de Propiedad Intelectual.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
I+D	Investigación y Desarrollo.
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación.
IED	Inversión Extranjera Directa.
IMPI	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
IPN	Instituto Politécnico Nacional.
MRT	Mapa de Ruta Tecnológica.
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible.
OMPI	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
PI	Propiedad Intelectual.
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
RENIECYT	Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas.
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Desde 2018).
SCIAN	Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte
SE	Secretaría de Economía
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

RESUMEN

La agricultura de precisión ofrece múltiples ventajas que se pueden utilizar en beneficio del campo; especialmente dentro de países en vías de desarrollo, como es el caso de México donde, a pesar de los avances existentes, se ponen en evidencia también realidades que reflejan su atraso. En la actualidad, la gestión de la tecnología en países desarrollados aborda aspectos referentes a la integración de tecnologías para optimizar la producción agrícola y la agroindustria. A lo que se suma el desarrollo de estrategias, la promoción de la innovación y el desarrollo de nuevos productos. En este sentido, el objetivo de este trabajo de investigación consiste en elaborar un mapa de ruta tecnológico, abordando de forma exploratoria únicamente lo referente a la trayectoria tecnológica. Ello, con la intención de determinar el estado del arte y brindar un diagnóstico preliminar que permita identificar áreas de oportunidad en agricultura de precisión, para proponer alternativas de desarrollo del campo mexicano. Los resultados obtenidos muestran que las áreas tecnológicas que presentan los nodos más robustos en la agricultura de precisión son: sensores remotos, Internet de las cosas, procesamiento de imágenes, entre otros. Si bien este escenario dibuja un mapeo global, los resultados constituyen un primer acercamiento con respecto a los campos tecnológicos que empresas e instituciones en nuestro país pueden desarrollar en favor del campo mexicano.

ABSTRACT

Precision agriculture offers multiple advantages that can be used to the benefit of the agriculture. Especially in developing countries, as the Mexico case, where despite of existing advances, the reality that reflect a clear delay. Actually, technology management in developed countries addresses aspects related to the integration of technologies to optimize agricultural production and agribusiness. Additionally, the development of strategies, the promotion of innovation and the development of new products added. In this way, the objective of this research work is to develop a technological road map, addressing in an exploratory way only the technological trajectory. This, with the intention of determining the state of the art and providing a preliminary diagnosis to identify opportunity areas in precision agriculture to provide alternatives of development of Mexican agriculture. The obtained results show that technological areas that present most robust nodes in relation with precision agriculture are remote sensors, Internet of things, image processing, among others. Although, this scenario draws a global mapping, the results constitute a first approach about technological fields that companies and institutions in our country can develop in favor of Mexican agriculture.

INTRODUCCIÓN

La historia de la humanidad tiene múltiples evidencias de que los países que han experimentado un rápido crecimiento económico y una considerable reducción de la pobreza son aquellos precedidos o acompañados de su progreso agrícola. A pesar de ello, comprender la importancia que tiene la actividad agrícola en el desarrollo de un país no es algo fácil de apreciar; por el contrario, se requiere de un análisis mucho más profundo. En las estadísticas comerciales, se considera a la agricultura únicamente como una actividad económica. La agricultura como forma de vida o patrimonio, incluso como identidad cultural, no tiene un valor económico. Entre otras importantes contribuciones no económicas de la agricultura, cabe mencionar el hábitat y el paisaje, la conservación del suelo, la ordenación de las cuencas hidrográficas, la retención de carbono y la conservación de la biodiversidad, actividades que favorecen el cuidado del medio ambiente; incluso el agroturismo cuenta ya con un número creciente de adeptos en buena parte del mundo, lo que demuestra el interés que existe por saber la forma en la que se cultivan los alimentos que consumimos.

En este contexto, es muy importante entender el papel que juega la agricultura de precisión (AP), la cual consiste en la gestión de la producción agrícola a partir de la observación, la medida y la forma de resolver cualquier factor que pueda determinar que un cultivo sea exitoso o no, utilizando herramientas que permiten aumentar la rentabilidad de los cultivos, así como su calidad, cantidad y rendimiento. Para lograrlo, utiliza herramientas tales como computadoras, sensores de suelo, sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), sistemas de información geográfica (SIG), monitores de rendimiento y cualquier otro tipo de tecnología que ayude a controlar y automatizar el manejo específico de una zona o área de cultivo. Por otro lado, la agricultura de precisión funciona como un esquema de gestión que

hace uso de múltiples tecnologías, con el objetivo de recolectar datos útiles que permitan favorecer la producción a través de la comparación de diferentes fuentes de información; aumentando así, de manera considerable, la eficiencia productiva.

La práctica de la agricultura ha evolucionado considerablemente en países desarrollados, al igual que el uso de tecnologías avanzadas aplicadas en actividades agrícolas y pecuarias; por el contrario, en países en vías de desarrollo algunas innovaciones tecnológicas son escasas y, en pleno siglo XXI, aún se trabaja la tierra con técnicas rudimentarias (tracción animal) o herramientas manuales para obtener cosechas con rendimientos muy limitados o utilizados únicamente para autoconsumo. Si bien un pequeño grupo de productores que dominan la agricultura intensiva y mecanizada, pueden competir a nivel comercial e incluso internacional, gracias a la inserción de capital y tecnología para el manejo de sus cultivos; las prácticas de producción agrícola no son las mismas en todos los países industrializados, la gran mayoría utiliza tecnología (maquinaria) importada enfocada en la mecanización de las operaciones, con herramientas y accesorios innovadores altamente tecnificados, con la finalidad de incrementar la productividad y reducir al mínimo los costos de operación, las cantidades de insumos y pretender estar a la vanguardia de un mundo globalizado, dominado por empresas transnacionales, que demanda parámetros de calidad, inocuidad y alto valor agregado para competir.

Como es de suponer, en los países en vías de desarrollo esto no es así, en el caso específico de México y de acuerdo con el Índice Global de Seguridad Alimentaria, edición 2017, publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), México ocupa el lugar número 30 de 105 países evaluados, porque cuenta con una infraestructura agrícola débil. Este hecho demuestra una importante

paradoja debido a que, si bien durante los últimos años se ha incrementado la inversión pública y privada en el campo, ésta se ha concentrado en muy pocas empresas, afectando de este modo la productividad del país. Esta desviación de recursos en beneficio de unos cuantos explica la baja producción agrícola mexicana. Por ejemplo, mientras que en México se producen alrededor de 3.3 toneladas de maíz y 5.5 toneladas de trigo por hectárea, países como Alemania, Inglaterra y Francia superan las 7.9 toneladas.

El abandono del campo mexicano ha tenido también repercusiones en la calidad de vida de la población que habita en zonas rurales. De acuerdo con datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), existen más de 16 millones de pobres viviendo en el campo mexicano, subsistiendo con alrededor de 1,490.00 pesos mensuales por persona. Esta situación de pobreza genera que millones de personas tengan que migrar de sus lugares de origen para buscar mejores condiciones de vida. De acuerdo con datos de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), de una población de más de nueve millones de personas que conforman la mano de obra campesina, el 40% deben migrar a otras regiones para encontrar mejores oportunidades laborales. En contraste con este escenario, y gracias a la inyección de capital y tecnología para el manejo de sus cultivos, existe un grupo reducido de productores mexicanos, en particular en los estados del noroeste del país y el bajío, que dominan la agricultura extensiva y mecanizada, lo que les ha permitido competir exitosamente a nivel internacional.

Es necesario que la política agrícola mexicana se replantee para darle un nuevo sentido y rumbo al campo mexicano: invertir en nuevas y mejores tecnologías que ayuden a aumentar la producción agrícola del país, fundamental para su desarrollo; basta ver cómo gran parte de las potencias mundiales, en lugar de abandonar la producción de alimentos, la han fortalecido,

como son los casos de los Estados Unidos de América, Alemania, Francia, el Reino Unido, Australia, entre otros. También es importante resaltar que, sin importar lo exitosos sean los avances tecnológicos en otras áreas o qué tan grande sea la demanda del sector terciario en la economía mundial, si no se cuenta con un sector primario sólido, el progreso y desarrollo de nuestro país difícilmente podrá llevarse a cabo.

En este orden de ideas, la agricultura de precisión es un enfoque tecnológico, intensivo en conocimiento, que puede aplicarse en todos los entornos productivos del sector; esto es, puede llevarse a cabo tanto en condiciones de agricultura protegida como en condiciones de agricultura intensiva y extensiva y puede emplearse en la producción de frutales, hortalizas y flores. Este concepto contiene de manera implícita el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), el cual es un campo intensivo en conocimiento. Por otra parte, la gestión de la tecnología se ocupa de todos los aspectos relacionados con la integración tecnológica y la toma de decisiones, fundamental para realizar una serie de procesos empresariales básicos incluidos el desarrollo de estrategias, la innovación, el desarrollo de nuevos productos y la gestión de operaciones (Phaal, Farrukh, & Probert, 2001).

Como se puede observar, los atributos de la agricultura de precisión forman parte de las premisas que apuntan al desarrollo del potencial de las tecnologías de primer nivel, como base fundamental para emprender acciones de cambio en la agricultura de nuestro país, dado el contexto que viven actualmente los productores, la intervención requerida por los centros de investigación, la calidad de los productos (de preferencia orgánicos) que debemos consumir, el enfoque y las aportaciones de centros de investigación y desarrollo (I+D) que tradicionalmente no han estado inmersos en la problemática rural y la falta de intervención del gobierno desde una perspectiva holística e innovadora.

De esta manera, el principal objetivo de este trabajo de investigación consiste en elaborar un mapa de ruta tecnológica, específicamente en lo referente a la trayectoria tecnológica que sirva como una herramienta, que permita identificar las tecnologías más relevantes para el desarrollo de la agricultura de precisión (AP), las tendencias, y el entorno bajo el que se desenvuelven.

En el primer capítulo, se aborda el marco contextual donde se describen los avances y retos relacionados con el desarrollo tecnológico, tecnologías agrícolas, agricultura de precisión, innovación y cambio tecnológico, aprendizaje tecnológico y desarrollo de capacidades, sistemas de patentamiento y derechos de propiedad intelectual.

El segundo capítulo contempla el marco teórico y conceptual para profundizar en el análisis y entendimiento de temas relacionados a la agricultura de precisión; entre los que destacan: planeación tecnológica y mapas de ruta tecnológica (su tipología y su formato). En el tercer capítulo se plantea el desarrollo metodológico para la consecución del objetivo general y los objetivos particulares que de él se desprenden.

En los capítulos cuatro y cinco, se lleva a cabo el análisis de los resultados que permiten definir la trayectoria tecnológica para el área de agricultura de precisión en México, abordando los retos y oportunidades que tiene por delante. Las herramientas con las cuales se analiza la información son: Matheo Patent, Vosviewer y el software redes. En el caso de las patentes, las búsquedas se hicieron con las bases de datos de la USPTO y de ESPACENET. En el caso de la bibliometría, los datos se obtuvieron tanto de Scopus como de Web of Science.

Finalmente, en el capítulo sexto se registran las conclusiones.

JUSTIFICACIÓN

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo (PND), implementado por cada presidente en turno, hay un apartado en el que se menciona al sector primario como un sector estratégico y se diseña una planeación agrícola nacional. En esta “planeación” se enlistan los cultivos que representan un interés preponderante para un grupo de personas, estratégicamente seleccionadas, que aporten sus conocimientos y experiencias; sin embargo, basta revisar el PND para darse cuenta de que carece de profundidad y solamente menciona las estrategias y actividades de manera somera.

La problemática nacional referente a la alimentación es un tópico que tiene que ver no solo con la falta de productos básicos en cada uno de los hogares, sino también con la calidad de los nutrientes que contienen todos los productos que provienen del campo; a pesar de ser el sector que tiene la tarea de producir alimentos nutritivos, con la optimización de recursos hídricos e insumos agrícolas, en la actualidad enfrenta un desafío complejo; por un lado, tiene la necesidad de proporcionar a la población productos limpios para disfrutar de una vida saludable y, por el otro, tiene la obligación de aplicar tecnologías ecológicas que garanticen el desarrollo sostenible y contribuyan de forma productiva a las economías locales y nacionales.

Ante ese panorama, se retoma la agricultura de precisión porque aplica la cantidad correcta de insumos en el momento adecuado y en el lugar exacto. *“También utiliza las tecnologías de la información y la comunicación para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. Así mismo, involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo”* (García & Flego, 2008, pág. 105). En este orden de ideas y dadas las ventajas que presenta la agricultura de precisión, implícitas en su misma definición, y la necesidad de producir alimentos sin contaminar los ecosistemas, de fomentar el uso de tecnologías eficientes entre los actores

principales, el presente proyecto propone un mapa de ruta tecnológica enfocado sobre la agricultura de precisión y la meta que se debe alcanzar.

Hoy en día, el uso de las tecnologías digitales debe formar parte de una prioridad, más que de un lujo, y debe emprenderse por el organismo encargado de regular y promover al sector agroalimentario, en México es la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Aunque el Reglamento Interior de este organismo no menciona la Agricultura de Precisión, los Artículos 18 y 19 permiten su aplicación en el sistema agropecuario nacional (Santillán & Rentería, 2018). Adicionalmente, Santillán & Rentería (2018), mencionan algunos datos importantes relacionados con la actividad agropecuaria mexicana, entre ellos desatacan los siguientes:

- Aproximadamente el 24% de la población total habita zonas rurales.
- Cerca del 4% del PIB corresponda a la agricultura.
- Existe baja productividad agrícola.
- La SAGARPA y el sector privado ofrecen asistencia técnica.
- Los Centros de Investigación y Universidades no cuentan con modelos de transferencia de tecnología hacia el campo.
- El sistema de innovación mexicano carece de interacción-colaboración institucional.
- La investigación agrícola se realiza principalmente con recursos públicos.
- Se crearon el Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable (SNITT, 2004), Comités Sistema Producto (CSP, 2003) y el Sistema Nacional de Capacitación y Asistencia Técnica Integral (SINACATRI, 2003).

La agricultura de precisión surge como una consecuencia natural del avance de la tecnología, y como una respuesta obligada por parte de la comunidad científica que trabaja el campo de la investigación agrícola, integrando las tecnologías de la información y la comunicación en las tecnologías de producción agrícola. Van Es & Woodard (2017) aplican el concepto de agricultura digital, la cual integra información agrícola almacenada en bases de datos para ponerla a disposición de aplicaciones relacionadas con la agricultura de precisión.

Cabe aclarar que “dentro del proceso de innovación se suele separar lo que se considera propiamente como Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+D). A su vez, la I+D se subdivide en tres grandes áreas: la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico” (Escorsa & Valls, 2005, pág. 23).

Es por lo anterior que el desarrollo tecnológico incluye la aplicación de conocimientos científicos para producir distintos materiales, dispositivos, procedimientos, sistemas, nuevos servicios, o bien mejoras sustanciales. Dentro de esta etapa del proceso de innovación, se hacen trabajos sistemáticos fundamentados en conocimientos existentes, que por lo general surgen de la investigación aplicada o bien de la experiencia práctica. El primer objetivo del desarrollo tecnológico es el de lanzar al mercado una novedad o una mejora concreta.

Cuando abordamos el tema de la Agricultura de Precisión, pensamos en solucionar algunos de los problemas presentes; uno de ellos, y de mayor urgencia, es la disponibilidad de productos básicos para alimentar a la población; para lo cual se espera que la producción de alimentos se duplique en el año 2050, empleando los métodos de la agricultura tradicional y dependiendo de los recursos minerales básicos con un reciclaje limitado, disponibilidad de precipitaciones pluviales y fijación biológica de nitrógeno, todo ello requeriría un aumento de tres veces la cantidad de tierra cultivada. Siguiendo el mismo orden de ideas, se señala que para

alimentar a una población en aumento podría ocasionar un daño extremo a los ecosistemas, a menos que las parcelas se consideren cada vez más como pequeños ecosistemas con un reciclaje eficiente de minerales y agua (Tilman, 2001).

Ante esa problemática, la presente investigación, considera que el mapa de ruta tecnológica (trayectoria tecnológica) juega un papel importante para identificar los retos y barreras que enfrenta el país para la implementación de la agricultura de precisión, como una herramienta de soporte en la planeación estratégica. Al considerar la época de transición que se vive en el país y las necesidades de cambio que el sector agrícola requiere, y tomando en cuenta los resultados favorables que han tenido en otros países, es importante analizar los beneficios que ofrecen las tecnologías de la información y la comunicación y los efectos que están provocando en prácticamente todos los sectores a un ritmo acelerado, donde la agricultura no puede ser la excepción; por el contrario, necesita ser atendida por varios sectores que pueden resultar beneficiados, dado que del campo proviene la materia prima fundamental que muchos de ellos utilizan para procesar, la búsqueda de soluciones para satisfacer la creciente demanda de alimentos puede fijar su dirección en las técnicas que integran la agricultura de precisión, con los resultados que ha tenido en otros ambientes, para hacer los ajustes necesarios de acuerdo al contexto del agro-mexicano y tener el éxito que se espera en cuanto a seguridad alimentaria saludable y la armonía con los ecosistemas.

La metodología propuesta para la construcción de la trayectoria tecnológica tiene la intención de brindar líneas de acción que permitan potenciar el desarrollo del sector primario con la implementación de la agricultura de precisión, visto éste como un conjunto de tecnologías direccionadas por la industria 4.0. Más aún, puede coadyuvar a que el sistema gubernamental se organice con las instituciones pertinentes, mediante una serie de acciones estratégicas y

habilitadoras para trabajar de manera colaborativa y apoyar al sector primario en una nueva forma de producción eficiente, donde el uso de las tecnologías pueda tener un impacto ambiental y social que represente incluso la posibilidad de que los jóvenes se interesen nuevamente en las actividades primarias y se abstengan de emigrar hacia grandes ciudades en busca de oportunidades de empleo.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El problema de investigación consiste en identificar el estado del arte que presenta la agricultura de precisión a nivel mundial durante el periodo de 1990 al 2019. Derivado de la necesidad de conocer el statu quo que guarda esta opción tecnológica para coadyuvar en la mitigación de los problemas que presenta el campo en México.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son los retos y oportunidades de la agricultura en el mundo y de manera particular en México?
2. ¿Cómo puede coadyuvar la agricultura de precisión para hacer frente a los problemas y retos del campo?
3. ¿Cuál es el avance que ha tenido la agricultura de precisión y cuáles son las áreas tecnológicas que se han relacionado con el desarrollo de ésta?

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo de investigación consiste en desarrollar la trayectoria tecnológica sobre la agricultura de precisión en México.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

1. Conocer el estado actual de la tecnología y áreas tecnológicas relacionadas con la agricultura de precisión en el mundo.
2. Conocer las tendencias del sector agrícola, las tecnologías y los productos a nivel mundial para el desarrollo de este grupo de tecnologías.
3. A partir de este mapeo, definir alternativas de acción para el caso concreto de México.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL

1.1 Desarrollo tecnológico

El desarrollo tecnológico está relacionado de manera inherente con la innovación (ver Tabla 1).

La innovación es la explotación con éxito de nuevas ideas o dicho de otra manera, Innovación = invento + explotación (Escorsa & Valls, 2005).

Tabla 1. Conceptualización de la innovación

Definiciones	Autores
<i>“Se trata de la transformación de una idea en un producto o en un servicio comercializable, un procedimiento de fabricación o distribución operativo, nuevo o mejorado, o en un método de proporcionar un servicio social”.</i>	Manual de Frascati de la OCDE.
Es todo cambio (no solo tecnológico) basado en conocimiento (no solo científico) que genera valor (no sólo económico).	Fundación COTEC, 2015 (Ortiz-Villalobos, 2016, pág. 7)
<i>“Una innovación es la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores”.</i>	Manual de Oslo, 2006 (pág. 56)

Fuente: elaboración propia con base en (Escorsa & Valls, 2005, pág. 21).

Como es sabido, el proceso de la innovación es complejo y dentro de éste, se suele separar lo que es considerado propiamente como Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+D), ésta se desglosa en tres clases: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico (Escorsa & Valls, 2005) como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Aspectos vinculados a procesos innovadores

Concepto	Definición	Campo de aplicación
Investigación básica	<i>Comprende todos aquellos trabajos originales que tienen como objetivo adquirir conocimientos científicos nuevos sobre los fundamentos de los fenómenos y hechos observables.</i>	<i>Dentro de este tipo de trabajos se analizan propiedades, estructuras y relaciones y su objetivo es formular hipótesis, teorías y leyes. Los resultados se publican en revistas bastante especializadas y no pretenden lograr ningún objetivo lucrativo en concreto.</i>
Investigación aplicada	<i>Consiste en trabajos originales que tienen como objetivo adquirir conocimientos científicos nuevos, pero orientados a un objetivo práctico determinado. Está muy ligada con la investigación básica y estudia métodos y medios nuevos para lograr un objetivo concreto.</i>	<i>Los resultados que se obtienen son los productos determinados, una gama de productos nuevos o incluso, un número limitado de operaciones, métodos y sistemas. Los resultados son susceptibles de ser patentados. En esta fase se trata de obtener una primera muestra del material, aparato o mecanismo.</i>
Desarrollo tecnológico	<i>Abarca la utilización de distintos conocimientos científicos para la producción de materiales, dispositivos, procedimientos, sistemas o servicios nuevos o mejoras substanciales. Realiza trabajos sistemáticos basados en conocimientos existentes, procedentes de la investigación aplicada o de la experiencia práctica.</i>	<i>Su primer objetivo es lanzar al mercado una novedad o una mejora concreta. Para poder ensayar, normalmente se hacen pruebas con un prototipo o una planta piloto. Actualmente hay una tendencia a la simulación por computadora. La empresa que ha conseguido la patente ha de continuar el proceso hasta el lanzamiento del producto al mercado.</i>

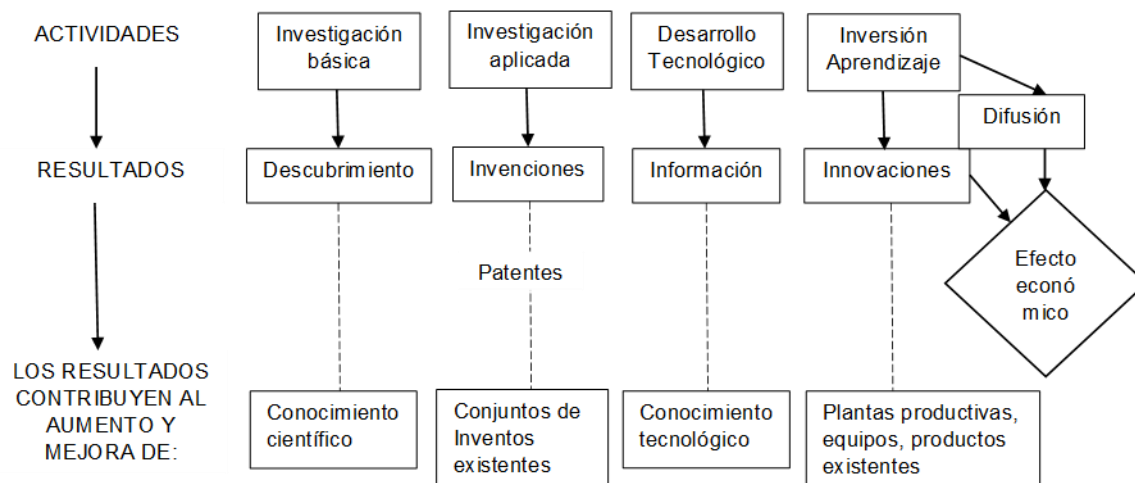
Fuente: Elaboración propia con base en (Escorsa & Valls, 2005, págs. 23 y 24).

En la fase de desarrollo tecnológico experimental, la empresa busca la forma más eficiente de producir el invento de forma industrial. Esto se logra implementando una planta piloto en donde se hacen todas las adecuaciones necesarias hasta lograr el objetivo de establecer una distribución óptima de las máquinas y áreas requeridas. Durante este proceso, la empresa logra hacerse del “know-how” (“saber cómo” se hace) para producir el invento, en otras palabras, cuenta con la tecnología necesaria para fabricar el producto. En caso de que la planta piloto resulte eficaz y viable, se procederá a realizar las inversiones necesarias para producir de acuerdo con la demanda estimada del producto (Escorsa & Valls, 2005).

En oposición a los enfoques tradicionales, se señala que el desarrollo tecnológico industrial no debe verse como un proceso que únicamente se puede promover por medio de la inversión en nuevos equipos y la compra de tecnología importada. Para que la tecnología pueda ser asimilada, bien operada y mejorada, las empresas deben realizar inversiones y acciones deliberadas de aprendizaje tecnológico. Por lo tanto, no basta con comprar máquinas o contratar transferencia de tecnología para reducir la brecha tecnológica internacional. Las empresas deben investigar la tecnología, entenderla y documentarla para asimilarla y mejorarla (Domínguez & Brown, 2004).

El proceso innovador implica una serie de fases que tienen por objetivo llevar una invención al mercado, para esto, existen varios modelos que permiten entenderlo. El modelo lineal en particular incluye al desarrollo tecnológico como una actividad involucrada en este proceso innovador, tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Modelo por etapas de la Innovación Tecnológica



Fuente: Rosseger (1980, citado por Escorsa y Valls, 2005).

El desarrollo tecnológico también está definido por medio de un concepto desarrollado por la NASA: “Technology Readiness Level” (Nivel de Desarrollo de la Tecnología), el cual cuenta con nueve niveles. El desarrollo tecnológico está relacionado con los niveles 4 al 6. Este concepto se encuentra relacionado con otros términos tales como innovación tecnológica y empresas de base tecnológica.

1.2 Tecnologías agrícolas en el mundo

Antes de hablar de las tecnologías aplicadas en la agricultura, es importante mencionar la evolución que esta actividad humana ha tenido desde el periodo neolítico y a lo largo del tiempo, partiendo del momento en el que se inició el uso de herramientas (ver Tabla 3). La agricultura, como toda actividad, requiere de la intervención del intelecto humano para facilitar y mejorar el desarrollo de los procesos que en ella intervienen, tales como siembra, recolección, secado y

almacenaje donde se utilizaron instrumentos rústicos que fueron mejorando hasta las máquinas tecnificadas que en la actualidad se conocen.

Tabla 3. Evolución del uso de herramientas y máquinas en la agricultura.

Año o período	Acontecimiento
1000 a. C.	Da inicio la introducción del hierro en la fabricación de herramientas en la agricultura
1892	Se inventa el tractor de gasolina, y se crean una gran cantidad de implementos para la siembra, la recolección, la fumigación y la limpieza del producto obtenido.
1930 – 1940	Se crea en Inglaterra el primer fertilizante artificial.
1940-1950	Se inventan los pesticidas artificiales, destacando el DDT.
1950-1970	La mecanización del campo, el control de plagas, la fertilización y las mejoras en la agricultura aumentan la productividad. La llamada Revolución Verde lleva los adelantos a los países menos adelantados.
1994	Se comercializa el primer alimento modificado genéticamente.
2000-2010	Los transgénicos están presentes en la mayoría de los países de altos ingresos.
2009	Se empiezan a desarrollar modelos experimentales de robots para regar, cosechar y fumigar los cultivos.

Fuente: elaboración propia con base en SIAP.

De acuerdo con la UNCTAD (2013), la agricultura sigue siendo el sustento de 8 millones de agricultores rurales (aproximadamente el 7 % de la población total) que producen gran parte de los productos agrícolas y alimenticios (agroalimentarios) de México; tanto para exportación como para los mercados nacionales, en propiedades no mayores a cinco hectáreas; sin embargo,

el escenario alimentario cambia rápidamente y la presión sobre la tierra productiva es más grande que nunca, ya que el ingreso generado por los productos agrícolas, comparado con la alta inversión de insumos, conduce a la inestabilidad económica de los agricultores. Este escenario requiere la introducción de tecnologías alternativas para mejorar el rendimiento de los cultivos, evitar el desperdicio de insumos agrícolas, contribuir a la estabilidad económica de los productores, cuidar un ambiente en grave deterioro e incorporar a una nueva generación de jóvenes que visualicen las actividades del campo como un área de oportunidades donde pueden incorporar sus conocimientos empíricos y el uso de las TIC.

En México, la agricultura es un sector muy importante. El INEGI proporciona información pertinente con relación a esta actividad primaria; en general, se aportan datos relacionados con superficie cultivada a cielo abierto de cultivos anuales, de cultivos perennes, así como volúmenes de su producción (ver gráficas 1, 2, 3 y 4).

El gráfico número 1 muestra que los cultivos anuales más importantes por superficie cultivada son el maíz grano blanco, el sorgo grano, el maíz y el sorgo forrajero, el frijol grano, el maíz grano amarillo y el trigo grano, con superficies que rebasan las 500 000 ha por cultivo.

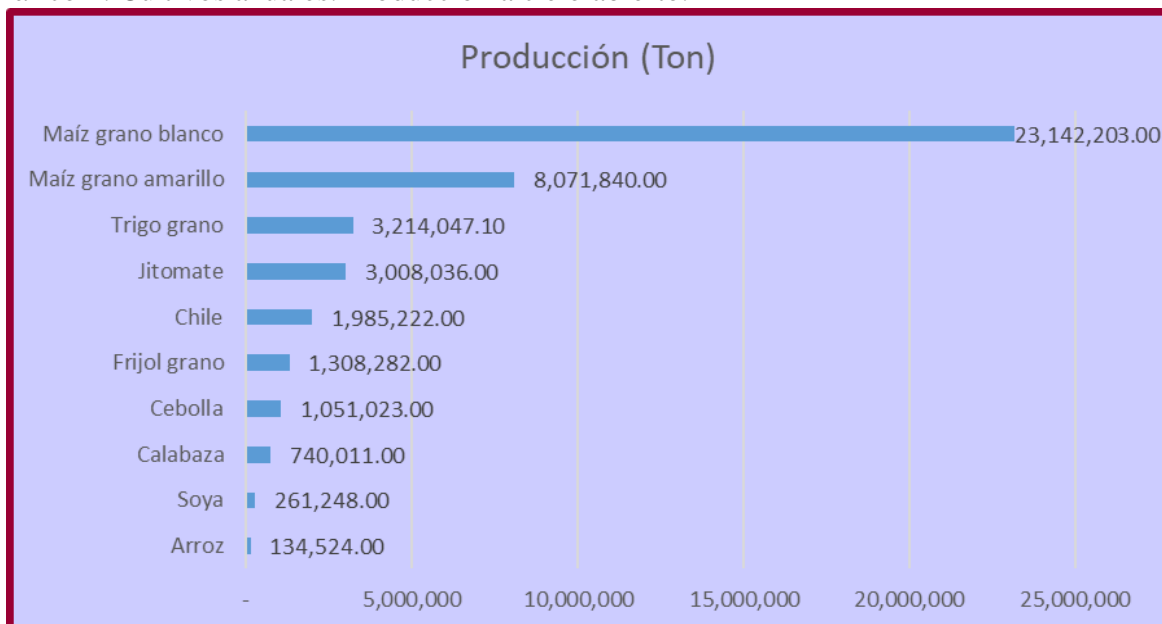
Gráfico 1. Cultivos anuales. Superficie cultivada a cielo abierto.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017 (INEGI).

En el gráfico número 2 se representan los cultivos anuales más importantes por producción, que son el maíz grano blanco, maíz grano amarillo, trigo grano, jitomate, chile, frijol y cebolla, con producciones que rebasan el millón de toneladas por cultivo.

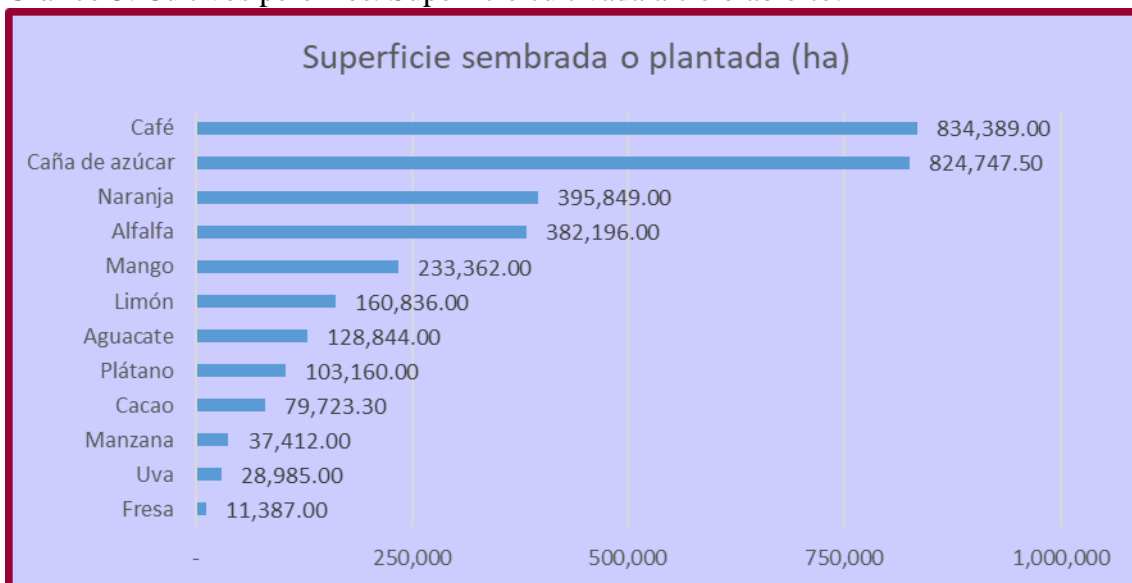
Gráfico 2. Cultivos anuales. Producción a cielo abierto.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017 (INEGI).

En lo que se refiere a los cultivos perennes, en el gráfico número 3 se aprecia que los cultivos más importantes son el café, caña de azúcar, naranja, alfalfa, mango, limón, aguacate y plátano con superficies que superan las 100 000 ha sembradas o plantadas.

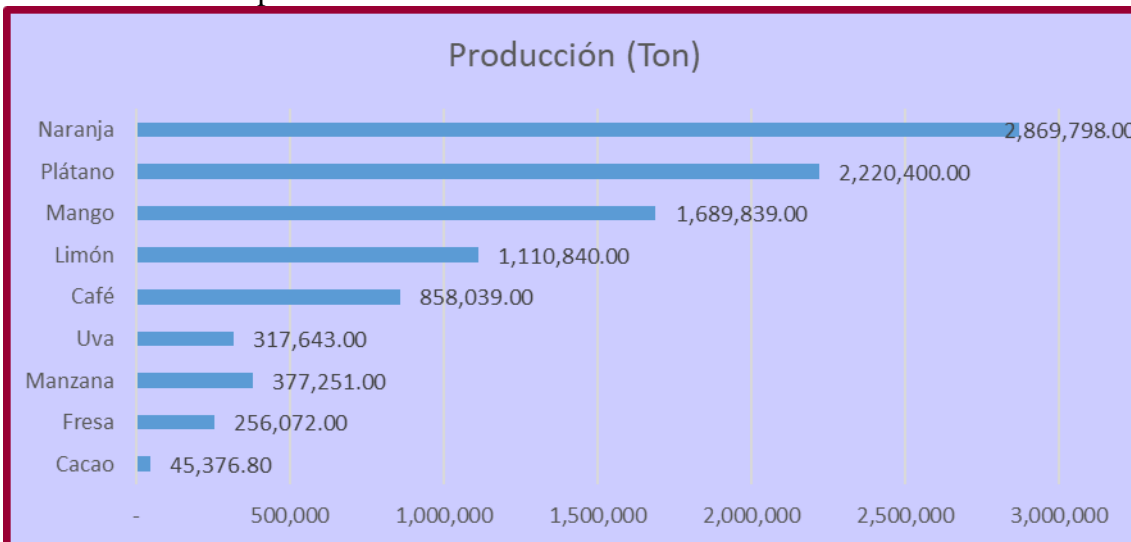
Gráfico 3. Cultivos perennes. Superficie cultivada a cielo abierto.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017 (INEGI).

En el gráfico número 4 podemos apreciar que los cultivos perennes más importantes por producción son la caña de azúcar, la naranja, el plátano, el mango y el limón con producciones que rebasan el millón de toneladas por cultivo (la caña de azúcar cuenta con una producción de 56 354 945.1 toneladas, el cual es un volumen muy alto en comparación con los demás cultivos, por lo que se optó por separarlo para facilitar la visualización de los demás datos).

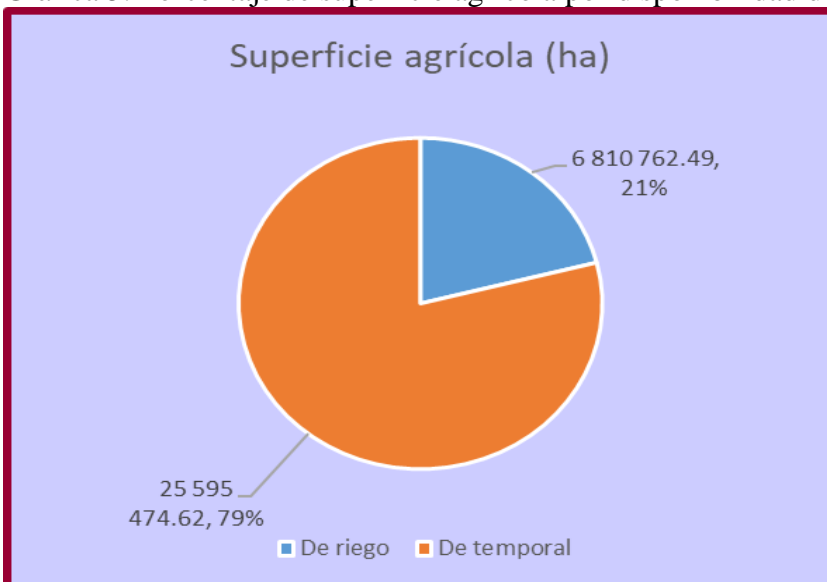
Gráfico 4. Cultivos perennes. Producción a cielo abierto.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017 (INEGI).

Además de los datos mostrados en las gráficas anteriores, se cuenta con información relativa a la superficie agrícola por disponibilidad de agua, la cual se muestra en el gráfico 5. Aquí se puede apreciar claramente que la superficie de riego es un poco menos de la cuarta parte de la superficie total.

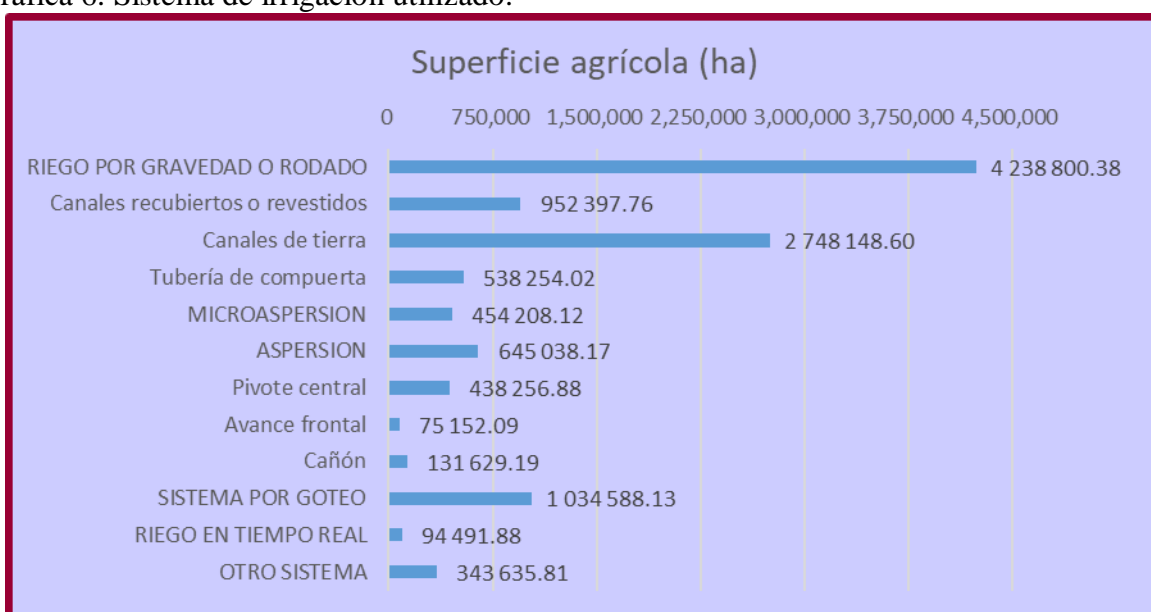
Gráfica 5. Porcentaje de superficie agrícola por disponibilidad de agua.



Fuente: INEGI, Encuesta Nacional Agropecuaria 2017

En el gráfico 6 podemos apreciar los tipos de riego que se usan dentro de la agricultura nacional. Es importante notar que el riego por gravedad o rodado es el que más se utiliza y dentro de este sistema, el riego por canales de tierra es el más utilizado, el cual es además el más ineficiente en cuanto a conducción de agua se refiere, ya que existen muchas pérdidas por filtración y evaporación.

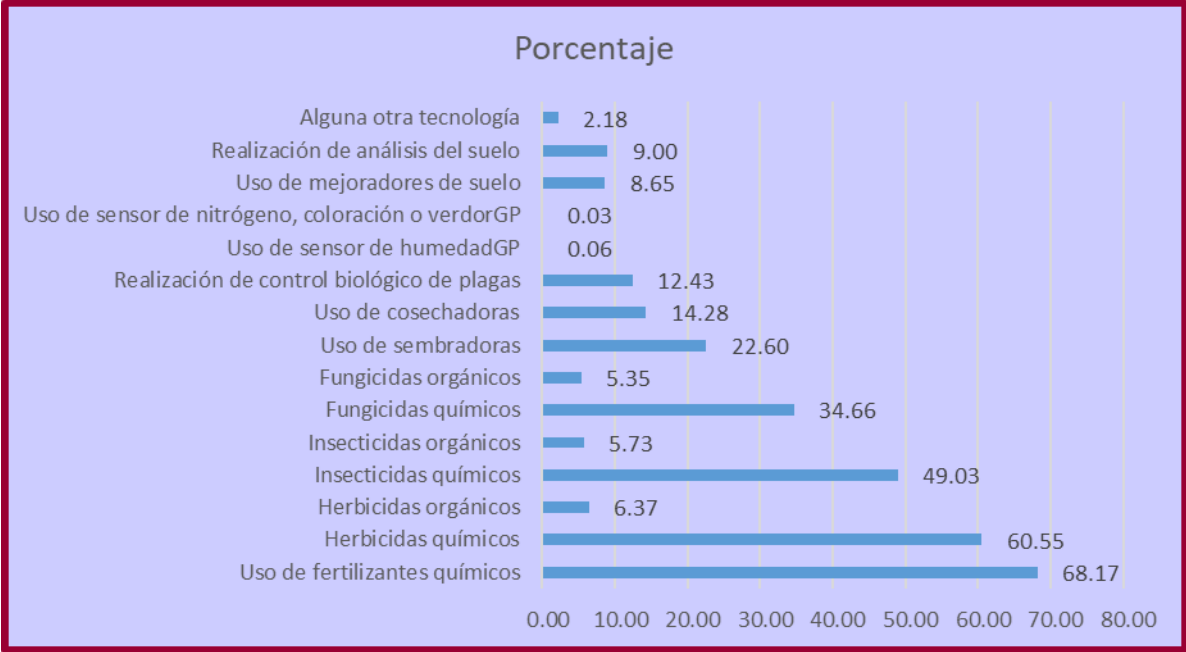
Gráfica 6. Sistema de irrigación utilizado.



Fuente: INEGI, Encuesta Nacional Agropecuaria 2017.

En el gráfico 7 se muestran datos sobre los tipos de tecnologías empleadas en las unidades de producción con agricultura a cielo abierto, resaltando el uso de fertilizantes químicos y de herbicidas químicos. También se puede apreciar un muy bajo uso de sensores, tanto de humedad como de nitrógeno, los cuales están asociados con grandes productores. Asimismo, podemos apreciar el bajo uso de prácticas como la realización de análisis de suelos.

Gráfica 7. Porcentaje de unidades de producción con agricultura a cielo abierto por tipo de tecnología agrícola empleada (datos de octubre de 2016 a septiembre de 2017).



Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017 (INEGI).

Las nuevas tecnologías que se están aplicando en la agricultura incluyen a los sensores, al Big Data y a softwares de gestión, la robótica, los tractores autónomos, biotecnología y Big Data biológico, economía compartida, granjas verticales, agricultura y ganadería celular, tecnologías satelitales, insumos, agricultura más natural, y las tecnologías que permitan la trazabilidad de los cultivos (Cornell University, INSEAD, & WIPO, 2017). Los agricultores de todo el mundo están buscando constantemente otras formas de maximizar sus retornos utilizando teledetección, información geográfica (GIS), sistemas de posicionamiento global (GPS), dispositivos de monitoreo de rendimiento, sensores de suelo, plantas y plagas, sensores remotos y tecnologías de tasa variable para aplicadores de entradas como parte de las tecnologías necesarias para maximizar la economía y beneficiar al ambiente mediante la agricultura de precisión; sin embargo, la mayoría de los agricultores no tiene las habilidades para utilizar estas tecnologías de manera efectiva, tal como lo demuestra (Seelan et al, 2003), en un estudio

realizado en los Estados Unidos. Estos autores, a través de un enfoque de comunidad de aprendizaje liderado por Upper Midwest Aerospace Consortium (UMAC) compartieron información entre científicos, productores agrícolas y proveedores de datos (Seelan et al, 2003).

Seelan et al, 2003, señalan que los agricultores y ganaderos recibieron información de valor agregado derivada de AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), MODIS (The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), ETM +, IKONOS, el sistema de cámara DALSA de Digit Inc. y la cámara aérea digital ADAR 5500 de Positive Systems, durante cuatro temporadas de crecimiento. Se hizo hincapié en reducir el tiempo entre la adquisición de datos y la entrega de productos de valor agregado a los agricultores, desarrollando usos prácticos para los datos y capacitación básica para que los usuarios finales puedan entender cómo interpretar la información. Agricultores y ganaderos en las áreas rurales estaban conectadas a través de un enlace satelital de banda ancha a un centro de distribución central en la Universidad de Dakota del Norte.

Los granjeros participaron activamente en la evaluación de la utilidad de las entradas derivadas de datos de teledetección, a veces incluso realizando experimentos en aplicaciones de fertilizantes y fungicidas y evaluación de los beneficios económicos. Las aplicaciones resultantes incluyeron la delimitación de la zona de gestión, verificación de la efectividad de las aplicaciones de fertilizantes de tasa variable, verificar la efectividad de las aplicaciones de fungicidas, cuantificar la pérdida debida a daños por deriva accidental en la pulverización, seleccionando acres dentro de los campos de remolacha azucarera en el marco de un programa pago en especie y monitoreando el daño físico debido a los insectos, a la inundación, al viento y al granizo. También se revisaron otras prácticas de gestión de temporada temprana en el campo utilizando imágenes de alta resolución.

En lo referente al desarrollo de tecnologías de plantas destacan las siguientes áreas de I+D (FAO 2000):

1. Fertilizantes: abonos orgánicos y fertilizantes inorgánicos
2. Pesticidas: herbicidas o insecticidas
3. Semillas: tipo de semillas utilizadas, semillas de alto rendimiento u otras
4. Árboles injertados
5. Cultivos bajo cubierta de protección u otras formas modernas de producción (tomate con bastón, hidroponía, etc.)
6. Producción en vivero o invernadero

De la misma manera, las tecnologías para la agricultura digital han tenido un crecimiento importante en lo que a áreas del conocimiento se refiere (ver Tabla 4).

Tabla 4. Tecnologías para la agricultura digital

Entorno de producción	Tipo de tecnología	Propósito y beneficios
Tecnologías transversales	Herramientas de decisión computacional.	Uso de los datos para desarrollar recomendaciones para la gestión y optimización de una gran cantidad de tareas agrícolas.
	Nube.	Proporciona almacenamiento de datos, cómputo y comunicación eficientes, económicos y centralizados para apoyar la gestión de las fincas.
	Sensores.	Recopilar información sobre el funcionamiento de los equipos y los recursos agrícolas para apoyar las decisiones de gestión.
	Robots.	Implementación de tareas con eficiencia y trabajo humano mínimo.
	Herramientas de comunicación digital.	Permite la comunicación frecuente y en tiempo real entre los recursos agrícolas, los gerentes y los recursos computacionales en apoyo a la gestión.
De Campo	Geolocalización.	Proporciona la ubicación precisa de los recursos de la finca (equipo de campo, animales, etc.), con frecuencia combinados con mediciones (rendimiento, etc.), o utilizados para dirigir el equipo a ubicaciones específicas.
	Sistemas de información geográfica.	Utiliza el mapeo computarizado para ayudar a la gestión del inventario y hacer dosis geográficas de entrada de cultivos (fertilizantes, etc.).
	Monitores de campo.	Empleo de sensores y GPS en las cosechadoras para medir continuamente la tasa de cosecha y hacer mapas de rendimiento que permitan la identificación de la variabilidad del rendimiento local.
	Muestreo de precisión del suelo.	Muestreo de suelos a alta resolución espacial (en zonas) para detectar y manejar patrones de fertilidad en las parcelas.
	Sistemas aéreos no tripulados.	Uso de vehículos aéreos pequeños, de control remoto, de fácil implementación para monitorear los recursos de la finca utilizando imágenes UAS.
	Detección de reflectancia espectral (próxima y remota).	Medición de la reflectancia de la luz del suelo o del cultivo utilizando satélites, aviones o UAS, imágenes o sensores montados en implementos

	agrícolas, para hacer determinaciones sobre patrones de suelo, rendimiento de cultivos o animales, o sobre problemas de nutrientes / plagas.
Auto dirección y guía.	Reduce la mano de obra o la fatiga con la tecnología de conducción autónoma para equipos agrícolas (incluidos robots), también puede guiar con precisión los equipos de campo para permitir la colocación y gestión de insumos de cultivos de alta precisión.
Tecnología de ajuste variable.	Permite el ajuste continuo de las tasas de aplicación para que coincida con precisión con las necesidades de cultivos localizados en áreas de campo con aplicadores de campo para insumos de cultivos (productos químicos, semillas, etc.).
Computadoras a bordo.	Recopila y procesa datos de campo con hardware y software informático especializado en tractores, cosechadoras, etc., con frecuencia conectados a sensores o controladores.
ID de radiofrecuencia.	Transmite datos de identidad con etiquetas adjuntas a las unidades de producción (principalmente animales) que permiten la recopilación de datos sobre el rendimiento, así como la gestión individualizada.
Ganadería Sistemas automatizados de ordeña, alimentación y monitoreo.	Realiza operaciones de ordeño o alimentación automáticamente con sistemas robóticos, con frecuencia combinados con sensores que recopilan datos biométricos básicos sobre animales, reduciendo así las necesidades de mano de obra y facilitando el manejo individualizado del ganado.

Fuente: Cornell University, INSEAD, & WIPO, (2017, pág. 98).

1.3 Desarrollo de la agricultura de precisión en el contexto nacional e internacional

La aplicación de la agricultura de precisión (AP) en países en vías de desarrollo se considera incipiente. Dos limitantes importantes que se identifican son, por un lado, la adaptación de la tecnología a las condiciones particulares de estos países y por el otro, el costo de esta. En Latinoamérica se tienen desarrollos incipientes pero sostenidos particularmente en el cono Sur y México. En Argentina se han dado importantes avances en aspectos de riego, manejo de siembra directa, mapas de cosechas y en la aplicación de agroquímicos (programa INTA). En Brasil, se adelantan programas de investigación por parte de las universidades y centros de investigación en cultivos de café, maíz millo, soya y naranja y se cuenta desde 1998 con un proyecto cooperativo en el estado de Paraná, con participación de productores agrícolas. En Paraguay se cuenta con iniciativas privadas para la aplicación de agroquímicos, la nivelación de lotes con equipo laser, mapas de cosecha, geo-referenciación para sistemas de labranza y manejo de cultivos de arroz (Leiva, 2003).

Por otra parte, Leiva (2003) señala que en Chile se han realizado estudios de AP en viñedos y maíz, por parte de Agrosat e INIA. En Colombia, se reportan experiencias en AP por parte de los productores comerciales con cultivos tecnificados como banano y caña de azúcar, aunque también se mencionan algunas barreras para el desarrollo y utilización de la AP como la inexistencia de metodología para recolección y manejo de información y bajo nivel de gestión y capacidad administrativa de un sector importante. En este sentido, la tecnología descrita está lejos de ser una opción válida para los agricultores que operan de manera individual tanto por costos como por su adaptabilidad.

Dentro de los organismos mundiales que promueven la AP (Santillán & Rentería, 2018), registra a la Sociedad Internacional de Agricultura de Precisión (ISPA por sus siglas en inglés), el Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur, la Comunidad de Sistemas de Agricultura de Precisión (EUA) y la Sociedad Australiana de Agricultura de Precisión. Asimismo, varios países han decidido apoyar la investigación de esta disciplina en centros como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en Argentina, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias en Chile o el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria en Uruguay.

En esta misma revista de divulgación, se cita información proporcionada por la Sociedad Internacional para la Agricultura de Precisión (ISPA por sus siglas en inglés) (2017) en relación con los países que actualmente son sus miembros: Alemania, Arabia Saudita, Argentina, Australia, Botsuana, Brasil, Canadá, Chile, China, Corea del Sur, Egipto, España, Estados Unidos de América, Finlandia, Francia, Ghana, India, Irán, Israel, Italia, Kenia, Malasia, Nigeria, Noruega, Nueva Zelanda, Pakistán, Polonia, Reino Unido, Rusia, Sudáfrica, Suecia, Turquía, Ucrania y Uruguay. Las tecnologías o actividades más adoptadas son los monitores de rendimiento y el sistema GP.

En Australia, el monitoreo y mapeo de la variabilidad espacial en el rendimiento de los cultivos de grano pequeño han recibido mucha publicidad. Los monitores de rendimiento de cultivos están disponibles para cosechadoras de papa, maní y forraje, y aún en desarrollo para cosechadoras de algodón para monitorear tanto parámetros cuantitativos como cualitativos. El número total de monitores de rendimiento de grano que operan actualmente en Australia es inferior a 200 en comparación con los Estados Unidos, que tiene entre 5000 y 10 000 unidades operativas. En Japón, el Ministerio de Agricultura ha comenzado a invertir en proyectos de

investigación de AP, centrándose en la detección y los controles relacionados con la mecanización agrícola. Japón se caracteriza por una agricultura de pequeña escala e intensiva en mano de obra basada en gestión de la planta. La agricultura japonesa ha enfrentado muchos problemas serios durante las últimas dos décadas, incluido el excedente de producción de arroz, la rápida reducción de la fuerza laboral agrícola, la edad de los agricultores y las crecientes preocupaciones ambientales (Zhang, 2002).

El escenario de agricultura en México muestra que el 10% de la población mexicana está empleada en esta actividad con el 15% del territorio nacional, siendo la caña de azúcar, el maíz, trigo, papa y frijol algunos de los 200 productos agrícolas que se cultivan dentro del país. La agricultura en México es considerada una de las más importantes actividades que genera más de 12 millones de empleos en el país, por lo tanto se tiene un esquema de acción propuesto, dentro del cual destacan actividades como: selección de cultivos piloto (identificando cultivos de desafío particulares en diferentes ubicaciones geográficas), evidencia y recopilación de datos (temporadas de crecimiento, informes de cultivos, estado de salud del suelo, recolección, datos de EO, etc.), datos de validación y correlación (índices, mediciones, etc.), e integración tecnológica de productos y fuentes de datos, plan de Educación y Consulta.

La realidad sobre el tema de Agricultura de precisión en México muestra poco avance y evidencia de los trabajos realizados y falta de registros de su implementación; prueba de ello es que la bibliografía registra cero incorporaciones de sistemas inteligentes y automatizados en la aplicación de insumos agrícolas. Aunque por parte de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se ha impulsado la investigación en agricultura de precisión en el departamento de maquinaria agrícola y tanto en la Universidad de Guanajuato y en la Universidad Autónoma

Chapingo se imparte el curso de agricultura de precisión y en la Universidad Nacional Autónoma de México el curso de Teledetección Aplicada a la Agricultura (Negrete, 2017).

Por su parte, el Tecnológico de Monterrey y Motorola han lanzado un proyecto conjunto de agricultura de precisión en el que por primera vez, se piensa en cuantificar la variabilidad espacial y temporal de diversos factores ambientales que afectan la productividad de alfalfa en sistemas irrigados mediante el monitoreo de estos factores a través de los sistemas de sensores en el suelo y el ambiente, proporcionando la tecnología disponible de Motorola. Además, se pretende evaluar y desarrollar nueva instrumentación y software para medir y analizar los cambios en la producción de alfalfa, en respuesta a la variabilidad fenológica de la planta. Por otro lado, se intenta desarrollar una red efectiva para la transferencia de tecnología entre los productores, que sirvan para difundir hacia otros productores de forraje, y desde ahí se difunda a diferentes subsectores dentro de la sociedad a lo largo de su ciclo (Negrete, 2017).

Negrete (2017), señala que a partir de 2010 la empresa Quetzal Aerospace, con sede en el Estado de Querétaro comenzó a fabricar aviones no tripulados (drones). Poco más de cuatro años después de su apertura, la compañía ha manifestado su intención de utilizar estas plataformas aerotransportadas para optimizar las técnicas de los agricultores, con el fin de promover la "agricultura de precisión", con el apoyo de especialistas del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) y detectó que las plataformas aéreas no tripuladas Quetzal Aerospace podrían implementarse en tareas tecnológicas aplicadas.

1.4 Adopción de las tecnologías de precisión en México y en el mundo

La agricultura de precisión ha estado disponible comercialmente desde principios de los años noventa, aunque el ritmo de adopción en los Estados Unidos ha sido relativamente modesto, muestra de ello es que un gran número de agricultores no están familiarizados con estas tecnologías. Una encuesta nacional indicó que casi el 70% de los agricultores, dentro de ellos los pequeños agricultores desconoce las tecnologías de AP, y solo menos del 5% ha adoptado algún aspecto de AP (McBride & Daberkow, 2003).

En los Estados Unidos de América, los primeros adoptantes de la agricultura de precisión fueron personas jóvenes con educación profesional, dedicados de tiempo completo a la agricultura y que manejaban grandes extensiones de terreno. En el caso de Grecia, varios cultivos como el olivo, uva, manzana y pera se beneficiaron con el uso de sensores remotos y monitores de rendimiento. En Malasia se utilizó la fertilización sitio-específica (dosis variable de fertilizantes) en plantaciones de caucho. La AP ha posicionado a Holanda como uno de los productores agrícolas más eficientes del mundo (Santillán & Rentería, 2018).

En Estados Unidos, algunos agricultores pueden adoptar sólo algunos componentes, mientras que otros pueden adoptar varios componentes de la AP, dentro de los cuales incluyen monitores de rendimiento, muestreo geo-referencial de suelo de la rejilla, tecnología de tasa variable geo-referenciada (VRT) para aplicación de cal, fertilizantes y pesticidas, sistemas de posicionamiento global (GPS) y mapas de campo detallados creados a partir de Sistemas de información geográfica (GIS), por nombrar solo algunos. A través del uso de AP, los agricultores pueden ser más eficientes, reducir los costos de producción y, potencialmente, aumentar las ganancias. Sin embargo, poco se sabe actualmente sobre cómo los agricultores usan tecnologías de AP para respaldar la toma de decisiones gerenciales, o sobre la magnitud

relativa de los beneficios y costos de las tecnologías AP en fincas individuales. Se necesita investigación adicional sobre la tecnología de AP para ayudar a la comunidad agrícola a encontrar respuestas a preguntas relacionadas con la adopción, los usos y los posibles beneficios de gestión de la tecnología (Batte, 2003).

Es interesante observar que durante la última década, las ventas y el uso de los equipos necesarios para AP, como monitores y aplicadores de variables, han aumentado en un 70% en EE. UU y Canadá (Tran, 2006). Las granjas grandes comunes a las zonas agrícolas de América del Norte parecen inducir la adopción de AP mientras que, en el Lejano Oriente, las pequeñas granjas parecen hacer que su adopción sea más lenta. Sin embargo, hay casos claros en los que el tamaño de la granja o la ubicación geográfica no parece retrasar la aceptación de la AP. Es interesante notar que durante el inicio de la década de 1990, las técnicas de AP fueron adoptadas más por los agricultores situados cerca de los concesionarios y tiendas de granjas y fertilizantes (Kessler & Lowenberg-DeBoer, 1999).

El objetivo de un estudio realizado en Ohio fue recopilar información sobre la adopción y el uso de la agricultura de precisión de los primeros usuarios de esta tecnología que puede ser útil para aquellos que están considerando la adopción. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos (1) realizar entrevistas de estudio de casos exploratorios y explicativos con seis programas progresivos, (2) comprender qué componentes tecnológicos han sido los más beneficiosos para los agricultores que adoptaron, y (3) evaluar cómo han cambiado las prácticas de gestión como resultado de la adopción de componentes de la agricultura de precisión. Varios agricultores vieron el monitor de rendimiento, el receptor GPS y el software GIS/mapping como los componentes más importantes del sistema, y estos componentes como conjunto son útiles principalmente para la captura de datos de rendimiento y su preservación visual como un mapa.

Muchos de los agricultores altamente capaces expresaron su frustración con el hardware y los procedimientos del sistema. Para ello, antes de tener una adopción generalizada de este sistema, se necesitará investigación para simplificar la tecnología, mejorar las reglas de decisión para los insumos clave y desarrollar fuentes de datos nuevas de menor costo y más confiables para respaldar las decisiones de la agricultura de precisión (Batte, 2003).

La tasa de adopción de tecnologías de agricultura de precisión varía considerablemente de un país a otro, y de una región a otra. En el Reino Unido, una encuesta realizada en 1998 mostró que el 15% de los agricultores afirmaron haber usado tecnologías de la agricultura de precisión. La tasa de adopción de aplicaciones de fertilizantes de tasa variable y los monitores de rendimiento (que utilizan principalmente GPS y GIS) es superior al 5% para solo dos países, Estados Unidos y Canadá. Australia, Brasil, Dinamarca, Reino Unido y Alemania tienen una tasa de adopción que va del 1% al 5%. En los Estados Unidos, la aplicación de fertilizante de tasa variable basada en el muestreo de suelo de rejilla es el más utilizado. Monitor de rendimiento y mapeo de rendimiento son el segundo grupo de tecnologías adoptadas. La teledetección, así como la semilla y aplicaciones de pesticidas de tasa variable representan menos de 1% de las tecnologías de agricultura de precisión de todas las fincas. Sin embargo, considerando solo las granjas que adoptan agricultura de precisión, el porcentaje de adopción de sensores remotos aumenta hasta el 13,2% (Seelan, Laguette, Casady, & Seielstad, 2003).

La adopción de una tecnología es un proceso de tiempo variable, su cuantificación por su parte no es tarea fácil, sin embargo la literatura registra que para el caso de la agricultura de precisión, se ha medido por la cantidad de monitores de rendimiento comercializados; de esta manera, las cifras proporcionadas por los fabricantes de máquinas cosechadoras con sistema de

mapeo muestran que existe una tendencia creciente de su utilización en algunos países (Bongiovanni, 2006) (ver Tabla 5).

Tabla 5. Monitores de rendimiento en Agricultura de Precisión

Año	País	Monitores registrados
1992	EE UU.	Primeros test de campo.
1997	EEUU y Canadá.	17,000
1998	Gran Bretaña.	350
2004	Alemania.	500
204	Brasil.	250
2004	Australia.	800
2005	Argentina.	1,500
2005	EE UU.	35,000

Fuente: Bongiovanni et al (2006).

Entre las limitantes para adoptar las tecnologías destacan la inversión en tiempo, el gasto de aproximadamente 200 000 USD en un equipo de cosecha, el monitor de rendimiento con GPS que representa tan solo el 35 % de la inversión, costo de capital humano y costos para interpretar mapas de rendimiento. Aunque en los países del Cono Sur de América existen incentivos para adoptar la AP sobre todo en lo que se refiere al aspecto de monitoreo y gerenciamiento de la producción y de los operarios y en menor escala el lado de la dosis variable. Prueba de ello es la alta adopción del monitor de rendimiento antes que de la dosis variable en

Argentina, debido a que ha demostrado ser una excelente herramienta de diagnóstico agronómico y de administración de la maquinaria agrícola. Además, los beneficios de los sistemas de guía por GPS con respecto a la reducción de superposiciones y de áreas mal aplicadas son claros en Argentina y Brasil, donde se aplican grandes superficies (Bongiovanni, 2006).

1.5 Innovación y cambio tecnológico

Innovar se puede entender como la generación o adopción de ideas, procesos, productos o servicios que la unidad relevante que los adopta los percibe como nuevos. Frecuentemente se define la innovación de productos desde una perspectiva externa o de mercado, esto es, como la introducción de productos que suponen alguna novedad para el mercado (García & Calantone, 2002).

En el proceso de difusión de la innovación es importante considerar cuatro elementos, los cuales son: la innovación, los canales de comunicación, el tiempo y el sistema social. Entendiendo que la difusión es un tipo especial de comunicación, ya que los mensajes están relacionados con nuevas ideas. La comunicación es un proceso en el que los participantes crean y comparten información entre sí para alcanzar un mutuo entendimiento. La difusión es un tipo de cambio social, definido como el proceso por el cual ocurren alteraciones en la estructura y función de un sistema social. Cuando las nuevas ideas se inventan de manera difusa y se adoptan o rechazan, lo que conlleva ciertas consecuencias y se produce un cambio social. Por supuesto, tal cambio también puede ocurrir de otras maneras, por ejemplo, a través de una revolución política, a través de un evento natural como una sequía o un terremoto, o por medio de un reglamento gubernamental (Everett, 1995).

Durante la innovación, no hay nada más difícil de planificar, más dudoso de éxito ni más peligroso de gestionar que la creación de un nuevo orden de cosas. Cada vez que sus enemigos tienen la capacidad de atacar al innovador, lo hacen con la pasión de los partidarios, mientras que los otros lo defienden con lentitud, de modo que tanto el innovador como su parte son vulnerables. Muchos tecnólogos creen que las innovaciones ventajosas se venderán por sí mismas y que los posibles adoptadores analizarán ampliamente los beneficios obvios de una nueva idea y, por lo tanto, la innovación se difundirá rápidamente. Rara vez es este el caso. De hecho, la mayoría de las innovaciones se difunden a un ritmo decepcionantemente lento (Everett, 1995).

Considerando la anterior situación, Everett (1995) señala que podemos obligar a la gente a adoptar innovaciones. Así como los gobiernos de la ciudad y del estado hacen cumplir las leyes que requieren el uso de cascos de motocicleta, la utilización de los cinturones de seguridad de automóviles, entre otros. En estos casos, la sociedad impone su voluntad al comportamiento individual. Es comprensible que este enfoque coercitivo al cambio no sea muy popular entre el público. Un enfoque diferente para lograr la adopción de innovaciones que mejoren la salud aumente los niveles de alfabetización y extiendan la esperanza de vida, es el mercadeo social; la aplicación de estrategias de mercadeo comercial a la difusión de productos y servicios sin fines de lucro. Las restricciones de suministro no limitan la velocidad de difusión de un nuevo producto.

El cambio tecnológico por su parte implica generar conocimientos útiles relacionados con el arte de la producción. Más especialmente, implica un cambio en la función de producción (que relaciona la cantidad de productos con la cantidad de insumos) permitiendo que se produzca una mayor cantidad o calidad de producto, o ambas cosas, con el mismo volumen de tierra,

mano de obra y capital o en la misma cantidad y calidad de salida que se producirá con menos de al menos uno de los insumos. A menudo, estos cambios incluyen cambios en la calidad de los insumos, tales como formas mejoradas de maquinaria o mano de obra más altamente educada (Just, 1979).

Una teoría útil del cambio tecnológico es la de la innovación inducida. El cambio tecnológico está dirigido a salvar los factores progresivamente escasos o más costosos, es decir, ahorrar proporcionalmente más factores escasos que la abundancia de factores por unidad de productos a precios constantes. De manera más general, la teoría de la innovación inducida también considera el impacto de la demanda final. Países como Japón, donde la tierra es relativamente escasa, la tecnología se desarrolló para aumentar la productividad de la tierra. En los Estados Unidos, por otro lado, una parte considerable del desarrollo tecnológico se dirigió hacia el aumento de la productividad del trabajo, en parte debido a la abundancia relativa de las tierras agrícolas y la escasez de trabajo agrícola. Cada uno de estos procesos de cambio tecnológico tuvo diferentes efectos en la distribución del ingreso, las condiciones generales de trabajo y de vida y la estructura de las comunidades rurales en general (Just, 1979).

En el entendido que en los países de primer mundo se generan productos y tecnología utilizada en las labores agrícolas y estas a diferencia de otros ámbitos, son adoptadas de forma lenta por los agricultores y/o campesinos por razones económicas, de disponibilidad de la tecnología y falta de conocimiento y capacitación, existe la necesidad de realizar difusión y demostración de los beneficios de las nuevas tecnologías, para lograr que su proceso de adopción sea rápido, pues depende de varios factores y se encuentra mediado por diversos agentes y actores, así como por la cultura de cada país y dentro de este de cada región. Por lo tanto también es importante partir del aprendizaje en el uso de las innovaciones tecnológicas

donde interactúan actores, agentes sociales, instituciones gubernamentales e instituciones educativas.

1.6 Aprendizaje tecnológico

El aprendizaje tecnológico se refiere a la acumulación de experiencias que conforman un acervo de la empresa. “Es un proceso acumulativo con mecanismos de interacción y de regulación tácitos más frecuentemente que formales, donde el conocimiento es ante todo producto de una continua interacción entre actores sociales externos a la empresa y la propia empresa tanto en los procesos productivos como en la empresa en su conjunto” (Villavicencio, 1994). Existen varios momentos del aprendizaje que denominamos funciones, están estrechamente vinculadas en el tiempo. No se trata de etapas subsecuentes, sino de procesos que pueden ser paralelos, depender uno del otro en el tiempo y el espacio y que muestran la capacidad de los actores de la empresa a incidir en cada uno de ellos.

Numerosos estudios muestran que la capacidad de aprendizaje y la acumulación de capacidades tecnológicas están detrás de la competitividad de los países altamente desarrollados. Asimismo, se ha comprobado que el éxito exportador de las empresas sud asiáticas, particularmente coreanas y taiwanesas, se ha debido no solo a esquemas de políticas de mercado o importación de tecnología, sino también al hecho de que estos fueron acompañados por un conjunto de acciones estratégicas destinado a incrementar la capacidad de aprendizaje de las empresas (Domínguez & Brown, 2004).

En un trabajo sobre medición de las capacidades tecnológicas en la industria mexicana y después de un exhaustivo análisis factorial exploratorio Domínguez & Brown, (2004),

identificaron cuatro factores que expresan las principales fuentes de aprendizaje en la empresa manufacturera, los cuales son: 1) La política de formación de personal en todos los niveles de la empresa, 2) La innovación de mejora continua con la labor de investigación y desarrollo; en este grupo de variables sugiere que, en la industria mexicana esta labor está vinculada con los esfuerzos de asimilación, adaptación y mejora de tecnología importada, 3) Los sistemas de información y documentación de procesos, normas escritas y planeación de la empresa y 4) la inversión en nuevas tecnologías y renovación de maquinaria.

En algunos casos, el crecimiento de la productividad en empresas de América Latina se puede atribuir a esfuerzos propios de generación de conocimiento incremental. A priori, cabría esperar que las dinámicas de aprendizaje de este tipo hubieran creado un fuerte incentivo para exportar por parte de las empresas. El conocimiento adicional generado por la empresa en su proceso de aprendizaje tenía un claro valor en el mercado ya que podía ser útil para empresarios de otros países en vías de desarrollo con limitaciones de mercado y de organización de la producción similares a las que enfrentó la empresa en la que se dio primitivamente el aprendizaje.

Una empresa que se expande internacionalmente a diversos entornos facilita la apertura del sistema y promueve el aprendizaje tecnológico. La diversidad internacional también fomenta la participación en redes de fabricantes y otros proveedores de tecnología, lo que a su vez aumenta el aprendizaje tecnológico. A medida que la dispersión geográfica y/o la diversidad cultural de los países atendidos por una nueva empresa, se espera que aumente la amplitud de su aprendizaje tecnológico. La diversidad internacional ayuda a las empresas a acumular conocimientos técnicos universales y tácitos (Zahra et al, 2000).

En algunas empresas, la apreciación y valoración del aprendizaje ha conducido a establecer esfuerzos limitados para convertir el aprendizaje individual en aprendizaje organizacional. Un ejemplo de ello sucede en la empresa Vitro Glass, donde se establecieron muchos acuerdos de organización para fortalecer las actividades de aprendizaje. Sin embargo, se puso énfasis en apoyar el aprendizaje individual en lugar de la conversión del aprendizaje individual al aprendizaje a nivel organizativo. Además, los arreglos organizativos establecidos para facilitar esa conversión no funcionaron, revelando que los recipientes de Vitro Glass tuvieron dificultades para cambiar sus formas de hacer las cosas. Por lo tanto, hubo fallas en el intercambio de conocimiento tácito y el conocimiento se mantuvo básicamente en el nivel en el que se adquirió: grupo individual o nivel de planta. El conocimiento también se mantuvo esencialmente como tácito, por lo que se hizo poco esfuerzo para codificar el conocimiento tácito potencialmente codificable. El análisis de los recipientes de vidrio in vitro muestra que varias características del enfoque de la empresa para la gestión del conocimiento afectaron esa transición truncada (Dutrénit, 2000).

1.7 Capacidades tecnológicas

Las capacidades tecnológicas suelen vincularse a factores relacionados con la empresa y con el empresario. En el caso de la empresa, existen factores como el tamaño de la empresa, edad, control mayoritario (si es familiar o no), estatus legal (si está integrada en una sociedad mercantil o no) y si es independiente o forma parte de un grupo. En este sentido, se ha considerado que el tamaño de la empresa es un factor que se ha tratado de relacionar con las capacidades tecnológicas y se han encontrado resultados contrarios. El tamaño de la empresa tiene relación significativa y positiva con la adquisición de sus capacidades tecnológicas (López, 2012).

Romijn (1999), mide las capacidades tecnológicas en función del grado de complejidad involucrado en la fabricación de los bienes pertinentes, basando su enfoque en los mecanismos de aprendizaje de la industria metalmecánica a pequeña escala. Señala que la diversificación hacia arriba en esta industria ocurre mediante un proceso de aprendizaje por imitación de diseños y reproducción de bienes de fabricación cada vez más compleja, de forma tal que un mismo parque de maquinaria y equipos es posible fabricar productos distintos con diferentes grados de complejidad dependiendo del nivel técnico de las operaciones realizadas; por lo tanto, la manufactura de los distintos productos elaborados con un mismo parque de maquinaria puede requerir diferentes grados de habilidades (Domínguez & Brown, 2004).

Domínguez & Brown (2004) Indica, que las capacidades tecnológicas son las habilidades (técnicas, gerenciales u organizativas) que las empresas necesitan para utilizar de manera eficiente el hardware (equipo) y el software (información) de la tecnología, y cumplir cualquier proceso de cambio tecnológico. Las capacidades son específicas de la empresa, el conocimiento institucional se compone de habilidades individuales y la experiencia acumulada en el tiempo. El cambio tecnológico es el resultado de actividades intencionadas emprendidas por empresas ("esfuerzos tecnológicos"). No es ni exógeno ni automático, se requiere un esfuerzo individual para hacer explícitos los muchos elementos tácitos de la tecnología, y la mayor parte del esfuerzo tecnológico no tiene lugar en absoluto en la frontera de la tecnología. Cubre una gama mucho más amplia de esfuerzos que cada empresa debe emprender para acceder, implementar, absorber y aprovechar el conocimiento requerido en producción.

Analizando el nivel de las capacidades tecnológicas de las diversas empresas para entender mejor sus diferencias en la situación de heterogeneidad que caracteriza a las economías en desarrollo, el análisis de los indicadores de desempeño en los grupos con distintos niveles de

capacidades tecnológicas mostró una asociación de las capacidades tecnológicas y el desempeño en el caso de la productividad laboral, el margen de ganancia y el cambio técnico. Esto indica que las capacidades tecnológicas, a través de su efecto en el comportamiento innovador de las empresas influye positivamente en el desempeño y contribuyen a explicar las diferencias que se observan en este (Domínguez & Brown, 2004).

1.8 Sistema de patentes y propiedad industrial

La propiedad industrial representa un segmento de la propiedad intelectual. De acuerdo con la legislación internacional vigente, promovida por la Organización Mundial del Comercio (OMC), cada país está obligado a crear un sistema que proteja la propiedad intelectual como medio para garantizar la competencia económica. En el caso de México, en 1991 se creó la Ley de propiedad industrial, la cual se ha reformado en varias ocasiones, la última de ellas en el año de 2018. El Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), es el órgano encargado de regular la ley de propiedad industrial.

A nivel internacional, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), es la encargada de tratar asuntos relacionados con la propiedad intelectual. Administra varios tratados entre ellos el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT por sus siglas en inglés). Así mismo, este organismo internacional cuenta con una de las bases de datos más grandes sobre patentes, contenidas en el PATENTSCOPE. Esta base incluye tanto a patentes otorgadas por la vía del PCT como solicitudes internacionales de patentes presentadas por esta misma vía.

A nivel mundial existen algunas bases de datos sobre patentes que muestran relevancia, tal es el caso de la USPTO en EE UU, ESPACENET en Europa, y las bases de datos de oficinas nacionales de patentes de algunos países como Japón, Corea y China. En el caso de México, el IMPI es la institución encargada de gestionar la propiedad industrial y se vale de la ley de propiedad industrial. Este instituto cuenta con la base de datos conocida como SIGA, sitio en el que se puede consultar información general sobre figuras de propiedad industrial como las patentes, marcas y modelos de utilidad.

1.9 Derechos de propiedad intelectual en la agricultura

Al adentrarnos en términos de derechos de propiedad intelectual es importante decir que “la propiedad intelectual significa los derechos legales que resultan de la actividad intelectual en los campos industrial, científico, literario y artístico. Los países tienen leyes para proteger la propiedad intelectual por dos razones principales. Una es dar expresión legal a los derechos morales y económicos de los descubridores en sus creaciones y los derechos del público en el acceso a esas innovaciones. El segundo es promover, como un acto deliberado de la política del gobierno, la creatividad y la difusión y aplicación de sus resultados, y fomentar un comercio justo que contribuya al desarrollo económico y social” (OMPI, 2004, pág. 3).

Aunado a lo anterior, se puede agregar que la “propiedad intelectual (PI) es un activo, desarrollado por un trabajo inventivo o creativo, al cual, los derechos para excluir su uso no autorizado han sido otorgados por la ley. La explotación internacional de la propiedad intelectual es fundamental para el comercio, la inversión extranjera directa (IED) y las licencias de tecnología a través de las fronteras”. Los derechos de propiedad intelectual (DPIs) son los mecanismos formales por los cuales la propiedad se establece en activos intelectuales. De

acuerdo con la legislación, estos derechos son territoriales, y cada país tiene la libertad para determinar los términos para proteger dicha propiedad, alineados con un mínimo de protección, establecido a través de los TRIPS (Yang, 2003).

En el paradigma que soporta la propiedad intelectual intervenían y posiblemente sigan incidiendo gastos invertidos en la I+D, los cuales son aportados por las empresas dedicadas al desarrollo de nuevos productos. Por su parte, el paradigma de la innovación abierta puede implicar una nueva forma de percibir los gastos involucrados en la I+D, los cuales se dividen entre actores interrelacionados, encargados de desarrollar partes específicas del proceso de innovación.

Por otro lado, la propiedad intelectual comprende derechos exclusivos de uso respecto a resultados de actividades humanas realizadas en las áreas económica, cultural y tecnológica. La PI es una disciplina jurídica que permite a los creadores condicionar la utilización de los resultados de su esfuerzo intelectual y destreza humana, y por esta razón amerita reconocimiento y amparo jurídicos. De acuerdo con estos mismos autores, y para efectos de la agricultura, las patentes y los derechos de obtentores de variedades vegetales (DOVs) pertenecen a la propiedad industrial, la cual confiere a los inventores, el derecho de excluir a otros del uso y aprovechamiento económico, durante un período de 20 años establecido en la ley de propiedad industrial promovida por el gobierno federal (Alarcón & Astudillo, 2000).

La propiedad intelectual se divide en dos grandes apartados: los derechos de autor y la propiedad industrial. Los derechos de autor están orientados a proteger obras literarias y artísticas para difundir el conocimiento. Por el otro lado, la propiedad industrial, se subdivide en una serie de figuras dentro de las que se puede mencionar a las patentes, los modelos de utilidad, las marcas, los diseños industriales, los secretos industriales, las obtenciones vegetales

y las indicaciones geográficas. De acuerdo con los investigadores en el campo de la propiedad intelectual, ésta se reconoce como instrumentos empleados para promover la innovación y el desarrollo económico de las naciones. En este mismo sentido, contribuye a la transferencia del conocimiento.

De acuerdo con la OMPI (2015), una patente es un derecho exclusivo concedido por la ley a los solicitantes o cesionarios para que utilicen y exploten su invención durante un período de tiempo limitado, el cual es de forma generalizada de 20 años contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud de patente. Así mismo, se señala que el titular de la patente tiene el derecho de impedir la explotación comercial de su invención por parte de terceros durante dicho periodo. Como contrapartida, el solicitante está obligado a dar a conocer su invención al público de modo que otras personas, expertas en el tema, puedan reproducir la invención. El sistema de patentes tiene por objetivo equilibrar los intereses de los solicitantes o los cesionarios (derechos exclusivos) y los intereses de la sociedad (divulgación de la invención).

El acuerdo de Marrakech por el que se crea la OMC cubre varios acuerdos, entre ellos, el Acuerdo sobre el Comercio de Bienes, el cual incluye el Acuerdo sobre Agricultura y los ADPIC (TRIPS por sus siglas en inglés). El Acuerdo sobre Agricultura se crea con la finalidad de establecer un nuevo marco multilateral favorable a la liberalización progresiva de la agricultura a través de normas de aplicación general en materia de acceso a mercado, de ayuda interna (subvenciones domésticas) y de competencia de las exportaciones. Los ADPIC abordan los asuntos agrícolas en la medida en que la agricultura es una actividad industrial que goza de evoluciones técnicas y tecnológicas directamente relacionadas con la propiedad industrial (Bombrun, H., 2017).

1.10 Patentes como indicadores

De acuerdo con la OMPI, tanto las patentes otorgadas como las solicitudes de patentes, se consideran como un indicador fiable de la actividad inventiva. A nivel internacional, la utilización de las estadísticas sobre patentes con relación a las actividades inventivas y el desarrollo de nuevas tecnologías es una práctica usual. Sin embargo, hay que tener en cuenta algunos aspectos limitantes sobre las patentes, al momento de tomar dichas estadísticas sobre patentes como indicadores de la actividad inventiva como se señala a continuación (OMPI, 2019):

1. No todas las invenciones se patentan.
2. La aplicación del sistema de patentes para proteger las invenciones varía según los países y las industrias.
3. Debido a la internalización de las actividades de investigación y desarrollo (I+D), puede darse el caso de que dichas actividades se lleven a cabo en un lugar, pero la protección de la invención se solicite en otro distinto.
4. La presentación de solicitudes internacionales de patentes depende de diversos factores, como las corrientes comerciales, la inversión extranjera directa, el tamaño del mercado de un país entre otros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Agricultura de precisión

La necesidad de obtener alimentos para satisfacer a la población en constante aumento y la preocupación del deterioro ambiental causado por las actividades antropogénicas, ubican al sector agropecuario y las instituciones afines en un punto de mira de la sociedad para buscar alternativas que favorezcan la relación hombre-ambiente y a su vez proporcione productos básicos de calidad a través de distintas técnicas que puedan estar al alcance de los agricultores o puedan recibir atención y apoyo por parte del gobierno. Dentro de la diversidad de alternativas agrícolas, la presente investigación retoma a la agricultura de precisión para analizar sus ventajas y su aplicabilidad en el mediano y largo plazo en el campo mexicano y estar a la vanguardia en cuanto al uso de tecnologías alternativas, tal como lo están haciendo países desarrollados para contribuir al desarrollo sustentable.

“La agricultura de precisión consiste en aplicar la cantidad correcta de insumos en el momento adecuado y en el lugar exacto. Para ello, se hace uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La agricultura de precisión involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. Las tecnologías de la agricultura de precisión permiten satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones” (García & Flego, 2008, pág. 100).

La agricultura como actividad productiva implica tomar en cuenta temas como la productividad y la rentabilidad, además de los efectos sobre el medio ambiente. La agricultura de precisión, desde el momento en que surge como una rama intensiva en conocimiento, la cual se fundamenta sobre la tecnología, toma en cuenta estos tres importantes temas.

“La agricultura de precisión brinda la posibilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local de un cultivo y obtener una mayor producción con un menor costo. A través de la elaboración de un mapa de rendimiento del cultivo se le puede aplicar una dosis variable de pesticidas, abonos, fertilizantes, etc., contribuyendo a minimizar el costo de la producción y a lograr un mejor equilibrio ambiental” (Marote, 2010, pág. 163). “Otro beneficio que también está presente en este tipo de agricultura y que hace a un medio ambiente más sano y en equilibrio, es el uso del GPS, ya que es un valioso instrumento utilizado para diagnosticar con exactitud problemas de la producción agrícola, adoptar decisiones y obtener respuestas satisfactorias en los índices de rendimiento agrícola. Prácticamente consiste en actuar hasta con el más mínimo detalle en el sitio adecuado y en el momento oportuno, a partir de las novedades científicas que ofrece la informática y la tecnología” (Marote, 2010, pág. 149).

Este nuevo enfoque se beneficia principalmente de la emergencia y convergencia de varias tecnologías, incluido el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Sistema de información Geográfica (GIS), componentes de computadora miniaturizados, control automático, campo y teledetección, computación móvil, procesamiento avanzado de información, y telecomunicaciones. La industria agrícola es ahora capaz de la recopilación de datos más completos sobre la variabilidad de la producción tanto en espacio como en tiempo (Nai-gian, Mao-hua, & Ning, 2002). “Agricultura de precisión” también se refiere a una metodología de cultivo que aplica nutrientes y humedad solo cuando y donde se necesitan en el

campo. El objetivo es aumentar la rentabilidad de la parcela identificando los tratamientos adicionales de químicos y agua que aumentan los ingresos, superan los costos y no superan los estándares de contaminación (optimización restringida) (Moreenthaler, Khatib, & Kim, 2003), (Morgenthaler & Khatib, 1999).

El Consejo Nacional de Investigación (1997) estudió las necesidades de investigación de agricultura de precisión para el siglo 21. Observaron que la agricultura de precisión requiere nuevos enfoques de investigación que están diseñados explícitamente para mejorar la comprensión de las complejas interacciones entre múltiples factores que afectan el crecimiento de los cultivos y la toma de decisiones agrícolas. Se necesitan estrategias de muestreo y técnicas de análisis para integrarse en una decisión. Un sistema de soporte que determina la escala apropiada para implementar tecnología de tasa variable. Un equipo multidisciplinario que incluye científicos de fertilidad del suelo, científicos de cultivos y malezas, entomólogos, fitopatólogos, ingenieros de sistemas, científicos de sensores remotos, expertos en SIG, ingenieros de riego, economistas agrícolas y estadísticos que trabajen juntos para obtener sistemáticamente una mejor comprensión de la agricultura de precisión (Heermann, et al., 2002).

2.2 Técnicas utilizadas en la agricultura de precisión

El uso de las tecnologías avanzadas en los campos productivos, pasan de ser un lujo a una necesidad para maximizar el nivel de producción, generar ahorro significativo y un bajo impacto ecológico, por lo que la agricultura de precisión se ha convertido en el pilar de la agricultura sustentable con las técnicas que a continuación se describen de acuerdo con (Vilaboa, 2018):

Sistema de Información Geográfica (SIG) y Global Positioning System (GPS)

La agricultura de precisión ha sido posible gracias a la combinación del GIS con el GPS al acoplar los datos en tiempo real, lo que conduce al análisis y el manejo eficiente de gran cantidad de datos geoespaciales para planificar los cultivos, muestrear suelos, orientar tractores, explorar campos y levantar mapas topográficos y de rendimiento.

Imagen satelital y/o aéreas

Permite que los agricultores tomen la mejor decisión para procesar datos de campo vinculándolos con el GIS para la administración y control de recursos agrícolas. Un claro ejemplo es la preocupación por parte de los Organismos Internacionales sobre el calentamiento global, donde las cifras arrojan que por cada grado centígrado de calentamiento global, el 7 por ciento de la población mundial experimentará una disminución del 20 por ciento o más en los recursos hídricos renovables. De ahí que la FAO a través de un proyecto de 20 millones de dólares implementara la tecnología WaPOR (Water Productivity Open-access portal), la cual por medio de imágenes de satélite mide la eficacia del agua en regiones de escasas ayudando a los agricultores a obtener mejores rendimientos agrícolas y a optimizar los sistemas de riego en el continente Africano y el Medio Oriente.

Funciona de la siguiente manera: WaPOR mide la evapotranspiración de las plantas relacionándola con la biomasa y el rendimiento de los cultivos, calculando así el consumo de agua sobreponiendo imágenes satelitales con Google Earth para elaborar mapas.

Hoy en día existen diversas compañías con tecnologías basadas en GPS adaptadas a un tractor convencional el cual se puede manejar desde una Tablet con acceso a WiFi enviando información a través de sensores láser.

Cámaras digitales con tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging)

Este tipo de cámaras operan el tractor a distancia basándose en sistemas de mapas con los límites del campo y un software de planificación (según información oficial del Gobierno de los Estados Unidos relativa al Sistema de Posicionamiento Global y temas afines).

Uso de drones

Son naves no tripuladas que se manejan a control remoto con la capacidad de recorrer amplias extensiones en poco tiempo para aplicación de agroquímicos de forma muy localizada, contienen una cámara multi-espectral, con RGB Color Model y sensores térmicos se pueden tomar imágenes determinando zonas de baja población del cultivo y/o zonas de malas hierbas, también tienen la capacidad de medir la temperatura del cultivo, índice de clorofila y hasta las deficiencias en nutrientes.

Por dar un dato interesante, la compañía Yamaha tiene sobrevolando 2 mil 500 drones en Japón beneficiando a más de 7 mil agricultores, según los datos publicados por la red de especialistas en agricultura, dejando atrás la tradicional inspección ocular ineficiente para grandes extensiones.

Uso de robots

En los años '70 nace la robótica industrial, en los 80 se convirtió en una robótica de servicio sustituyendo la mano del hombre en diversas labores, en los '90 los robots sustituyen al humano en el desarrollo de actividades donde existen riesgos o limitaciones físicas. En los '00 se crea la robótica agrícola con sus inicios en las ordeñas y los invernaderos extendiéndose a campo abierto de forma tan espectacular que de acuerdo con los datos de la International Federation of Robotics (www.ifr.org), las aplicaciones de la robótica en agricultura y ganadería

son las segundas en número de ventas de robots de servicios profesionales, tras las aplicaciones en defensa y seguridad (Barrientos & del Cerro, 2016).

Los primeros robots en campo fueron diseñados por De Laval como máquinas de ordeña en el sector lechero, aumentando su complejidad y nivel de exactitud como la cosechadora de frutos para invernaderos de la Universidad de Wageningen (Holanda), capaz de coleccionar los frutos de forma autónoma al medir la madurez óptima sin dañar ninguna otra parte de la planta. Además de las tecnologías descritas, existen otras técnicas de suma importancia, dentro de las cuales destacan las siguientes (Mulla, 2013).

Aplicaciones de teledetección en agricultura

Las aplicaciones de la teledetección en la agricultura se basan en la Interacción de la radiación electromagnética con el suelo o material vegetal. Normalmente, la detección remota implica la medición de la radiación reflejada, en lugar de la transmisión o absorción de radiación. La detección remota se refiere a las mediciones sin contacto de la radiación reflejada o emitida desde los campos agrícolas. Las plataformas para realizar estas mediciones incluyen satélites, aviones, tractores y sensores portátiles.

La detección remota hiperespectral en la agricultura de precisión

La detección remota hiperespectral es otra técnica que recopila datos de reflectancia en un amplio rango espectral en pequeños incrementos espectrales (generalmente 10 nm). Proporciona la capacidad de investigar la respuesta espectral de suelos y superficies vegetadas en bandas espectrales estrechas (10 nm de ancho) a lo largo de un amplio rango espectral. Esto no es posible con imágenes multiespectrales que tradicionalmente recopilan datos de reflectancia en bandas anchas (más de 40 nm de ancho) centradas en las regiones B, G, R y NIR

del espectro. Cuando se recolectan a lo largo de grandes extensiones espaciales con una resolución espacial fina, las imágenes hiperespectrales proporcionan una visión poderosa de la variabilidad espacial y espectral en la reflectancia para un desnudo o en superficie con vegetación. Esta información se visualiza de forma radial utilizando un cubo de datos hiperespectrales tridimensional, con dos dimensiones espaciales (x, y) y una dimensión espectral (longitud de onda).

Brechas de conocimiento para la detección remota en Agricultura de precisión

En los últimos veinticinco años se han producido rápidos avances en la teledetección para la agricultura de precisión. Las imágenes de satélite han mejorado en resolución espacial, frecuencia de visita de retorno y resolución espectral. Las imágenes aéreas hiperespectrales han revolucionado la capacidad de distinguir múltiples características de cultivos, incluidos nutrientes, agua, plagas, enfermedades, malezas, biomasa y estructura del dosel. Sensores basados en tierra han sido desarrollados para el monitoreo en movimiento de las características de los cultivos y el suelo, tales como el estrés por nitrógeno, el estrés hídrico, la materia orgánica del suelo y el contenido de humedad.

Existen varias necesidades para futuras investigaciones en agricultura de precisión. En principio, es necesario hacer hincapié en los métodos de análisis de descomposición / derivación quimiométrica o espectral, ya que la resolución espacial y espectral de los sistemas de detección espectral son ahora adecuada para la mayoría de las aplicaciones agrícolas de precisión. Se necesitan sensores para la estimación directa de las deficiencias de nutrientes sin el uso de tiras de referencia. Se deben seguir desarrollando índices espectrales que permitan simultáneamente la evaluación de múltiples características de los cultivos (por ejemplo, LAI, biomasa, etc.) y tensiones (por ejemplo, agua y nitrógeno, malezas e insectos, etc.). Por último, se sugiere que

los archivos históricos de datos de teledetección satelital con resolución espacial moderada a alta y la resolución espectral tradicional deben integrarse con el control remoto en detección de tiempo real de datos de alta resolución espacial y espectral para mejorar la toma de decisiones en agricultura de precisión (Mulla, 2013).

2.3 Etapas de la agricultura de precisión

Para tomar una decisión sobre la implementación de la agricultura de precisión, es necesario conocer toda la información posible sobre cada una de las técnicas que integran a la AP para identificar la mejor técnica o el conjunto de técnicas que se puedan aplicar en cada ambiente de acuerdo con las necesidades que demande los cultivos y las situaciones agronómicas, sociales y ambientales que se requieren fortalecer. Asimismo, es importante recordar que la agricultura de precisión puede adoptarse en niveles crecientes de complejidad, no obstante, se requiere examinar las etapas que la conforman para efectuar una implementación adecuada.

Los autores Bongiovanni et al, (2006) y Mantovani & Magdalena (2014) especifican tres etapas de la agricultura de precisión, las cuales son:

1. Recolección de datos. Se lleva a cabo con equipos especializados como satélites o sensores remotos
2. El análisis de los datos. Un experto analiza los datos y emite sugerencias para manejar adecuadamente la variación espaciotemporal detectada
3. La implementación. El productor cultiva el terreno según las recomendaciones.

2.4 Problemas genéricos relacionados con la adopción de la AP

El enfoque tecnológico de la AP es percibido como una forma de incrementar la hegemonía de las corporaciones agrícolas multinacionales. En otros casos, y debido a sus demandas tecnológicas, la AP tiene poca aplicación en los países en desarrollo. Dentro de los posibles beneficios potenciales del bien público de la AP, está el garantizar la calidad de los productos hacia los consumidores (McBratney et al. 2005). Esta última ventaja, estriba en que la AP ofrece un medio para evidenciar las prácticas llevadas a cabo a lo largo de los ciclos productivos permitiendo garantizar el cumplimiento con acuerdos previamente establecidos sobre manejo responsable y amigable con el medio ambiente.

Una posible perspectiva para lograr una mejor aceptación de la AP es tomar al agricultor como objetivo central. Bajo este esquema, el agricultor se presenta como el actor principal, el cual cuenta con conocimientos tácitos que le permiten llevar a cabo sus prácticas, sin embargo, desconoce el efecto que está ocasionando al ambiente, como es el caso de la lixiviación de nitrógeno hacia los mantos acuíferos, efecto que demanda ser controlado por parte de autoridades internacionales en la materia y el cual puede ser gestionado con las tecnologías de la AP (McBratney et al. 2005).

En este mismo sentido, McBratney et al. (2005) sugiere orientar los esfuerzos hacia el planteamiento de estrategias para aspectos específicos que se ajusten a un plan general de gestión que cuente con un carácter altamente tácito en su fundamento.

Por otro lado, McBratney et al. (2005), señalan seis cuestiones críticas de investigación para desarrollar el concepto de AP en todo su potencial:

1. Criterios apropiados para la evaluación económica de AP.

2. Reconocimiento insuficiente de la variación temporal.
3. Falta de enfoque en toda la propiedad.
4. Métodos de evaluación de la calidad de los cultivos.
5. Seguimiento y trazabilidad del producto.
6. Auditoría ambiental.

McBratney et al. (2005) realizan una tipología de regiones agrícolas de precisión, la cual se fundamenta en el nivel de desarrollo económico general, el nivel de apoyo gubernamental a la agricultura y la naturaleza de la unidad de producción.

Tabla 6. Tipología de regiones agrícolas de precisión

Tipo	Tipología	Países	Condición predominante
A	Economías desarrolladas con agricultura apoyada por el gobierno.	Países de la Unión Europea, Estados Unidos y Japón.	La subvención de la agricultura ha propiciado un aumento en el uso de los insumos para maximizar la producción. Se enfocan en la producción máxima y no en la producción ambientalmente óptima.
B	Economías desarrolladas con agricultura mínimamente respaldada por el gobierno.	Países como Australia, Nueva Zelanda, Argentina y Brasil.	Debido a la dependencia de estas economías en las exportaciones agrícolas, se enfocan en la ventaja competitiva y la calidad y cantidad de la producción, en lugar del medio ambiente.
C	Economías en desarrollo con plantaciones y/o agricultura de planificación centralizada.	La gran mayoría de países del tercer mundo.	La AP se está aplicando en la caña de azúcar en Brasil y Mauricio, la palma aceitera en Malasia y en plátano en Costa Rica.
D	Economías en desarrollo con agricultura de pequeña escala o de subsistencia.	Muchos países del tercer mundo.	Se asume que la AP tiene poca aplicación, debido a que los agricultores cuentan con pequeñas extensiones de tierras cultivadas.

Fuente: Elaboración propia con base en McBratney et al, (2005).

McBratney et al. (2005) mencionan el Índice de idoneidad general de un país para la AP, de acuerdo con este autor, este índice puede ser el área de tierra que cada persona debe manejar. Con base en la noción de que, en promedio, la variación ambiental aumenta con el área, a mayor área, mayor será el potencial espacial para la AP. De acuerdo con este criterio, países como los Estados Unidos, Canadá o Australia son muy adecuados. Este mismo autor señala que un segundo indicador se basa en un índice ambiental. En este caso, se toma el criterio del uso de fertilizantes porque podría asumirse que su uso tiene un impacto ambiental. Los países con alto uso de fertilizantes tienen un potencial de aplicar la AP para optimizar su uso.

Tabla 7. Objetivos clave, barreras para la adopción y tópicos de investigación por tipología.

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Enfocados en la industria	Medio ambiente	Rentabilidad, calidad	Calidad	Sostenibilidad
Enfoque de entrenamiento	Graduados, consultores	Graduados, consultores	Investigadores, gestores	Investigadores, agricultores
Barreras para la adopción	DSS	DSS	DSS	DSS, Apoyo a la investigación
Problemas de investigación	Economía ambiental, Aseguramiento de la calidad y aseguramiento de productos, monitoreo de la cosecha	Aseguramiento de la calidad de la cosecha Optimización de la propiedad completa	Aseguramiento de la calidad de la cosecha	Vigilancia

Fuente: McBratney et al, (2005).

2.5 Política y gestión tecnológica

Salvo en lo que se refiere a la agricultura, las inversiones y el cambio tecnológico de los países menos desarrollados (PMA) no se han destacado en el enfoque económico sobre el diseño general de la política de desarrollo. Los libros de texto sobre desarrollo dedican una atención considerable a temas tecnológicos en sectores no agrícolas, tales como la elección de técnicas y la transferencia de tecnología a través de la inversión extranjera directa, las instituciones internacionales participan en proyectos tecnológicos más allá del sector agrícola; como por ejemplo, actividades de apoyo al sector industrial para difundir información técnica y mejorar la producción.

No obstante, ni los temas ni los proyectos se perciben generalmente en relación con las inversiones tecnológicas. Por lo general, se los ve desde otras perspectivas: la elección de técnicas, en términos de generar empleos apropiadamente remunerativos; mejora tecnológica en términos de asistencia al ajuste estructural después de la apertura del mercado; y así sucesivamente. Raras veces se reúnen en una discusión unificada sobre tecnología y desarrollo o en algún punto nodal dentro de las estructuras burocráticas (Evenson & Westphal, 1994).

La agricultura y en general las tecnologías relacionadas con la producción de alimentos representan sistemas productivos en los cuales el cambio tecnológico está presente. El cambio tecnológico ha significado la primera aparición en la producción local de cualquier proceso o producto novedoso. Se ha considerado el resultado de un proceso endógeno; la demanda de nuevas técnicas es inducida por otros cambios dentro de la economía. En este caso, estos cambios están representados por el crecimiento poblacional y la atención que se exige a temas como la pobreza o la desnutrición, además de la implementación de estrategias para el crecimiento económico (Evenson & Westphal, 1994).

2.6 Planeación tecnológica

Examinando las definiciones de tecnología es posible identificar una serie de factores que la caracterizan, los cuales pueden considerarse como un tipo específico de conocimiento, aunque este conocimiento debe volcarse sobre un artefacto físico, tal como una máquina, un componente, un sistema o un producto.

Las características clave de la tecnología que la distinguen de otros tipos de conocimiento más generales es que es aplicado, enfocado en el saber – cómo de la organización. Mientras que la tecnología usualmente se asocia con la ciencia y la ingeniería (tecnología dura), el proceso que permite su efectiva aplicación también es importante, como puede ser el desarrollo de un nuevo producto y los procesos de innovación, junto con las estructuras organizacionales y las redes de apoyo al conocimiento (aspectos “suaves” de la tecnología) (Phaal, Farrukh, & Probert, 2004).

La planificación también es vital para la tecnología. La planificación tecnológica es un determinante importante de lo que se enseña, cómo se enseña y qué tecnología se utilizará. Cómo la tecnología determina la instrucción directamente, las decisiones para elegir la tecnología apropiada se hacen justo por los maestros que tienen la oportunidad de cambiar y adaptar el currículo de diferentes maneras o de mejorar la calidad de las actividades en el aula. La planificación de la tecnología debería ser una forma de resolver los problemas existentes que se enfrentan durante el proceso de integración. Otro beneficio de la planificación tecnológica es permitir que los maestros y administradores asignen tiempo para las actividades administrativas de manera efectiva y productiva. El tema importante es determinar tecnologías particulares para lograr los objetivos. Por lo tanto, los planificadores de la tecnología deben comenzar especificando objetivos y determinando las necesidades. El lado administrativo de la

planificación tecnológica es que la contribución y los beneficios de la tecnología para alcanzar los objetivos de las instituciones requieren un liderazgo efectivo con un enfoque innovador (Gülbahar, 2007).

La planificación estratégica se ha definido como “un esfuerzo disciplinado para producir decisiones y acciones fundamentales que dan forma y guían a una organización a qué hacer y por qué hacerlo”. A los efectos de impulsar el crecimiento, un plan estratégico es un proceso de negocio que combina un análisis de los mercados en los que una empresa actualmente desea participar, con las capacidades, productos o competencias necesarias para satisfacer las necesidades de los clientes en esos mercados, en un plan que produce un resultado comercial deseado. El enfoque de planificación empresarial propuesto trata el plan de ruta como un proceso de gestión de base, proporcionando tanto la entrada como la comunicación de los resultados de cualquier proceso de decisión y no una iniciativa de la empresa aislada (Whalen, 2007).

Continuando con este enfoque, el conocimiento tecnológico por lo general comprende tanto el conocimiento explícito como el tácito. El conocimiento tecnológico explícito es aquel que ha sido articulado a través de un reporte, un procedimiento o una guía para el usuario, junto con alguna manifestación física de la tecnología como puede ser un equipo o dispositivo mecánico. El conocimiento tecnológico tácito, por su parte, es aquel que no puede ser articulado fácilmente y el cual se basa en la práctica y la experiencia, tal como pueden ser las habilidades para soldar o diseñar.

La definición de tecnología, de acuerdo con Floyd (1997), es la aplicación práctica del conocimiento científico o ingenieril a la concepción, desarrollo o aplicación de productos u ofertas, procesos u operaciones. De acuerdo con este mismo autor, la tecnología es crítica por

dos razones principales, en primer lugar, la tecnología es fundamental para el éxito de cualquier producto comercial y de muchos servicios financieros. Sin el uso efectivo de la tecnología, nadie puede mantener una posición competitiva. En segundo lugar, la innovación impulsada por la tecnología es la única ruta viable para el crecimiento sostenido, y entonces es necesario manejar explícitamente la aplicación de la tecnología a largo plazo.

2.7 Mapas de ruta tecnológica

Los mapas de ruta tecnológica representan una técnica muy completa para apoyar la planeación y la gestión tecnológicas de una organización. (Phaal, 2015), coincide en que el proceso de desarrollar un mapa de ruta es más importante que el mapa de ruta en sí, debido a los beneficios asociados con la comunicación y la construcción de consensos.

Aunque el enfoque inicial de los mapas de ruta tecnológica fueron las organizaciones, actualmente esta importante técnica se aplica prácticamente en cualquier organización, llámese pública o privada. Sin embargo, debido a que los mapas de ruta tecnológica se llevan a cabo en un nivel de planeación estratégica, debe contar con ciertas condiciones para su ejecución. Debe ser una iniciativa de algún miembro de la alta dirección de alguna organización y debe contar con la colaboración de actores con un conocimiento profundo del tema.

Un mapa de ruta tecnológica es el documento que se genera como resultado del proceso de mapeo de ruta tecnológica; con él se identifican los requerimientos críticos del sistema (para un grupo de necesidades de producto), los objetivos de desempeño, tanto de producto como de proceso, las alternativas tecnológicas y los hitos para alcanzar los objetivos. El mapa de ruta tecnológica identifica objetivos precisos para enfocar los recursos sobre las tecnologías críticas

requeridas para alcanzar dichos objetivos. Este enfoque es importante porque permite que las inversiones en I+D se utilicen de forma efectiva (Bray & García, 1997).

El mapa de ruta emergió como un proceso extremadamente efectivo para crear y visualizar las relaciones comerciales; si se aplica como un marco de trabajo empresarial, tiene el potencial de proporcionar un puente entre todos los procesos de decisión táctica, diferentes funciones de negocios y organizaciones a través del elemento común del tiempo. El mapa de ruta se ha aplicado para respaldar una serie de diferentes objetivos específicos en varios formatos diferentes y es lo suficientemente flexible como para ser personalizado para adaptarse a la mayoría de las estructuras funcionales y organizativas (Whalen, 2007).

Si la definición de una hoja de ruta se generaliza como una visualización de estrategia o elementos de estrategia, entonces el uso de hojas de ruta puede extenderse para respaldar cualquier proceso de decisión. Los mapas de ruta no solo deben verse como los resultados de un proceso, sino más bien como una estrategia "móvil" en cualquier momento. Dentro de esta definición, las hojas de ruta juegan dos roles muy distintos; 1) establecen los vínculos necesarios durante el período de planificación entre todas las funciones comerciales para cumplir con los objetivos prioritarios y 2) proporcionan una base sobre la cual se pueden evaluar estrategias alternativas, futuros escenarios comerciales y oportunidades impulsadas por la innovación. En este sentido, los planes de trabajo proporcionan el marco dentro del cual todas las estrategias de función empresarial basadas en el tiempo de una empresa pueden alinearse de manera continua para apoyar los objetivos de la empresa (Whalen, 2007).

De acuerdo con Phaal, Farrukh, & Probert (2015), el mapeo de ruta ha sido adaptado por las organizaciones para apoyar muchos tipos diferentes de objetivos estratégicos y el término mapeo de ruta tecnológica puede hacer referencia a muchas técnicas y enfoques relacionados

entre sí. Siguiendo a estos autores, la característica particular (y benéfica) del concepto de mapeo de ruta tecnológica es el uso de un marco de referencia estructurado y por lo general gráfico basado en el tiempo para desarrollar, representar y comunicar planes estratégicos, en términos de la coevolución y del desarrollo de la tecnología, de los productos y de los mercados. En este sentido, el mapeo de ruta tecnológica también está estrechamente relacionado con otros enfoques de planeación gráfica tales como el PERT (Técnicas de Programación, Evaluación y Revisión) así como herramientas de planeación Gantt.

2.8 Mapeo de rutas tecnológicas

El mapeo de ruta tecnológico es un proceso de planeación tecnológica direccionado por una necesidad para ayudar a identificar, seleccionar y desarrollar alternativas tecnológicas para satisfacer un conjunto de necesidades de productos. Reúne a un equipo de expertos para desarrollar un marco de referencia para organizar y presentar información crítica de planeación tecnológica para tomar las decisiones apropiadas de inversión tecnológica y para aprovechar esas inversiones (Bray & García, 1997).

De acuerdo con Bray & García (1997), una vez que se han identificado las necesidades, el proceso de mapeo de ruta tecnológica proporciona una vía para desarrollar, organizar y presentar información sobre los requerimientos críticos del sistema y objetivos de desempeño que deben satisfacerse en lapsos de tiempo preestablecidos. El proceso también permite identificar las tecnologías que se deben desarrollar para alcanzar los objetivos planteados, además de proporcionar la información necesaria para hacer comparativos entre diferentes alternativas tecnológicas.

El mapeo de ruta puede llevarse a cabo en dos niveles, a nivel industria o a nivel corporativo. Estos niveles requieren diferentes compromisos en términos de tiempo, costo, nivel de esfuerzo y complejidad. Sin embargo, para ambos niveles los mapeos resultantes tienen la misma estructura –necesidades, requerimientos críticos del sistema y objetivos, áreas tecnológicas, directrices tecnológicas y objetivos, alternativas tecnológicas, alternativas recomendables o trayectorias, y un reporte del mapeo– aunque con diferentes niveles de detalle (Bray & García, 1997).

2.9 Tipología de mapas de ruta tecnológica

El enfoque de los mapas de ruta tecnológica es muy flexible y puede adaptarse de acuerdo con las necesidades particulares de cada empresa y de cada proyecto. Los mapas de ruta tecnológica se pueden clasificar de acuerdo con su propósito y al formato gráfico empleado, y fundamentado en el contenido gráfico y la estructura observada (Phaal, Farrukh, & Probert, 2001).

a) Planeación de producto: Este es el tipo más común de mapa de ruta tecnológica, relacionado con la inserción de tecnología sobre productos manufacturados.

b). Planeación de servicio/capacidad: Se dirige hacia las empresas de servicios, enfocándose en cómo la tecnología apoya las capacidades organizacionales.

c) Planeación estratégica: Es más apropiado para la evaluación estratégica general, en términos de apoyo a la evaluación de diferentes oportunidades o amenazas, típicamente a nivel de negocios. El mapa de ruta se enfoca en el desarrollo de una visión de negocio de futuro en términos de mercado, negocios, productos, tecnologías, habilidades, cultura, etc. Identificando

brechas comparando la visión de futuro con la posición actual, y las opciones estratégicas exploradas para superar las brechas.

d) Planeación a largo plazo: Este tipo de plan de ruta se usa para apoyar planeaciones a largo plazo, extendiendo el horizonte de planeación. Los mapas de ruta de este tipo se aplican con frecuencia a nivel de sector o nacional (a nivel de prospectiva), y pueden actuar como radares para la organización en la identificación de potenciales tecnologías disruptivas y de mercados.

e) Planeación de activos de conocimiento: Este tipo alinea activos de conocimiento e iniciativas de gestión del conocimiento con objetivos de negocios. Permite a las organizaciones visualizar sus activos críticos de conocimiento y las relaciones con las habilidades, tecnologías y competencias requeridas para cumplir con las demandas futuras del mercado.

f) Planeación programada: Este tipo de mapa de ruta tecnológica se enfoca en la implementación de estrategias, y está más directamente relacionado con la planeación de proyectos. En particular este tipo de mapas se enfoca en la administración del desarrollo de los programas a futuro mostrando las relaciones entre desarrollo tecnológico, fases de los programas y los hitos.

g) Planeación de proceso: Este tipo apoya la administración del conocimiento, enfocándose sobre un área particular del proceso como puede ser el desarrollo de nuevos productos, focalizando los flujos de conocimiento que se requieren para facilitar el desarrollo e introducción efectivos del nuevo producto, incorporando tanto la perspectiva técnica como comercial.

h) Planeación de integración: Se enfoca en la integración y/o evolución de la tecnología, en términos de cómo diferentes tecnologías se combinan en productos y sistemas, o para formar nuevas tecnologías, con frecuencia sin mostrar explícitamente la dimensión temporal.

2.10 Formato para mapas de ruta tecnológica

De acuerdo con su formato gráfico, los mapas de ruta tecnológica pueden clasificarse de la siguiente manera (Phaal, Farrukh, & Probert, 2001):

a) Capas múltiples: Este es el formato más común de mapa de ruta tecnológica estructurado en una serie de capas y subcapas definidas por aspectos como la tecnología, el producto o el mercado. La estructura del mapa permite que cada capa pueda desarrollarse de manera independiente de acuerdo con las necesidades.

b) Barras: En este caso, las capas y subcapas se representan por medio de barras, contando con la ventaja de simplificar y unificar los resultados, lo cual facilita la comunicación, la integración de los mapas y el desarrollo potencial de algún software para apoyar el mapeo de ruta.

c) Tablas: Este tipo de enfoque se recomienda para situaciones en las que el desempeño se debe cuantificar fácilmente, o bien si las actividades deben ser agrupadas en periodos de tiempo específicos.

d) Gráficas: Se selecciona cuando el desempeño del producto o la tecnología se deben cuantificar, en este caso, el mapa de ruta puede expresarse como una simple gráfica o curva, graficando una curva para cada capa o fila. Este tipo de gráfica es identificado como curva de experiencia, y está estrechamente relacionada con las curvas “S” de las tecnologías.

e) Representación pictórica: Dependiendo del área de aplicación y del equipo de personas que los desarrolle, los mapas de ruta pueden contar con representaciones pictóricas para comunicar la integración de las tecnologías en los planes.

f) Diagramas de flujo: Los diagramas de flujo son un tipo particular de representación pictórica el cual se usa típicamente para relacionar objetivos con acciones y resultados, relacionando la misión de la empresa o área de esta con las preguntas científicas fundamentales, las áreas prioritarias del negocio en un lapso determinado.

g) Diagramas de una sola capa: Este tipo de mapa entra dentro de una subclasificación del primer tipo de mapa, enfocándose en una sola capa seleccionada de las múltiples capas que integran el mapa original.

h) Diagramas de texto: Este tipo de mapas se integra completamente por textos describiendo los mismos problemas que se incluyen dentro de los mapas gráficos convencionales.

2.11 Proceso de mapeo de ruta tecnológica

Según García y Bray (1997), el proceso de mapeo de ruta tecnológica comprende tres fases donde se encuentran actividades preliminares, desarrollo del mapa de ruta tecnológica y las actividades de seguimiento. Estas tres fases a su vez se subdividen de la siguiente manera:

Fase 1. Actividades preliminares

- a) Satisfacer condiciones esenciales
- b) Proveer liderazgo y patrocinio

- c) Definir el alcance y las fronteras para el mapa de ruta tecnológica.

Fase 2. Desarrollo del mapa de ruta tecnológica

- a) Identificar el producto sobre el que se enfocará el mapa de ruta
- b) Identificar los requerimientos críticos del sistema y sus objetivos
- c) Especificar las principales áreas tecnológicas
- d) Especificar los controladores de tecnología y sus objetivos
- e) Identificar las alternativas tecnológicas y sus líneas de tiempo
- f) Recomendar las tecnologías alternativas que deben perseguirse
- g) Crear el reporte del mapa de ruta tecnológico

Fase 3. Actividades de seguimiento

- a) Criticar y validar el mapa de ruta
- b) Desarrollar el plan de implementación
- c) Revisar y actualizar

La primera fase comprende las actividades preliminares que son fundamentales para garantizar que el proceso de mapeo de ruta tecnológica se logre de manera satisfactoria. Algunas condiciones esenciales son las siguientes:

- 1) Se debe percibir una necesidad del mapa de ruta tecnológica y un desarrollo colaborativo.

2) Aportes y participación de diferentes grupos, tales como academia, industria, etc.

3) El proceso de mapeo de ruta tecnológica debe estar orientado por una necesidad, no por una solución.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUTA TECNOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla la metodología que se siguió para desarrollar el Mapa de Ruta Tecnológica para la agricultura de precisión en México. Así mismo, se detallan los pasos que se siguieron para el desarrollo de cada una de las capas que se proponen para conformar dicha hoja de ruta.

Tal como se menciona en apartados anteriores, los mapas de ruta tecnológica permiten comprender las interacciones entre los productos, las tecnologías para producirlos y el mercado en el cual se insertarán, así mismo permite integrar las políticas pertinentes para armonizar los aspectos anteriores.

3.1. Metodología para la elaboración del mapa de ruta tecnológico

En este capítulo se describe el procedimiento para elaborar el Mapa de Ruta Tecnológico (MRT), que consta de cinco etapas, iniciando con la etapa de planeación, documentación, procesamiento de los resultados, elaboración de la hoja de ruta y análisis de la información obtenida. El tiempo que se tomó en cuenta para recabar la información comprende desde el año 2000 al 2018.

La metodología para la elaboración del MRT se detalla a continuación:

1) Planeación.

- Búsqueda de información de libre acceso en la web.
- Alcance del MRT.
- Capas y periodo de estudio.
- Búsquedas de patentes.
- Palabras clave, clasificador internacional de tecnologías, consulta y consideraciones relevantes.
- Eventos relevantes sobre agricultura y maquinaria agrícola.
- Cadena de valor de la actividad agrícola de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN).
- Indicadores de mayor relevancia.

2) Documentación.

- Desarrollo de la búsqueda de información de libre acceso en la web.

- Bases de patentes relevantes.
- Tendencias del mercado y consumidores.
- Nuevos desarrollos tecnológicos, información técnica especializada.
- Valor de producción, insumos y exportaciones en la agricultura.
- Valor estratégico del sector a nivel nacional.
- Eventos nacionales e internacionales sobre agricultura.

3) Procesamiento de los resultados obtenidos.

- Análisis de patentes.
- Análisis bibliométrico.
- Trayectoria tecnológica.
- Correlación entre los productos, la tecnología, el entorno y las políticas.

4) Elaboración de la hoja de ruta.

- Definición y elaboración de la hoja de ruta tecnológica.

5) Análisis de la información.

Conclusiones y recomendaciones.

Conforme al planteamiento inicial, el mapa de ruta de la tecnología que se propone debe ser tomado en cuenta como un elemento para dar a conocer un diagnóstico de la agricultura de precisión con fundamento en indicadores tecnológicos, tomando en cuenta el entorno global

bajo el cual se está dando forma al sector agrícola y agroalimentario. De esta manera, se identificaron las tendencias, posibles oportunidades, así como las posibles barreras y amenazas del sector agrícola. El MRT que se desarrolló se contempla a nivel nacional con enfoque en todas las tecnologías relacionadas con la agricultura de precisión, así como las vertientes con las que ésta cuenta como campos específicos de aplicación.

La búsqueda de patentes y el análisis bibliométrico son las herramientas que se usaron, así mismo, se tomó en cuenta la política pública que existe con relación al tema. La información que se obtuvo se utilizó para alimentar cada una de las capas del mapa de ruta tecnológico. Como parte de la cuarta etapa, se analizó la información para definir el panorama lo más amplio posible en lo que se refiere a la tecnología. Debido a que el campo de aplicación está enfocado en el sector agrícola mexicano, se llevó a cabo una revisión de las acciones que se han llevado a cabo en otros países tanto desarrollados como menos desarrollados. En este sentido, se tomó en cuenta a los EE UU, Canadá y Alemania; por otro lado, se hizo una revisión de lo que se está haciendo en países como Chile, Argentina, Colombia y Brasil. También se identificaron las empresas de mayor relevancia en el sector.

Debido a que en México es un campo emergente en el cual solamente existen algunos indicios de actividad tanto de aplicación como de investigación, no se cuenta con información relevante al respecto.

3.2 Fuentes de información

Las fuentes de información están relacionadas con los enfoques de “empuje de la tecnología” y “jalón del mercado” los cuales influyeron en la elaboración del mapa de ruta tecnológico.

Algunas herramientas que se emplearon en la elaboración del MRT, son el análisis de patentes y el análisis bibliométrico, así como datos relacionados con tendencias del sector, consumidores de alimentos, los cuales, aunque no inciden de manera directa sobre el uso de las tecnologías en el proceso productivo, sí influyen en las decisiones sobre las preferencias de los alimentos producidos por medio de la aplicación de ellas.

Para el caso del análisis de patentes, las fuentes de información fueron las bases de datos de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO), de la Oficina Europea de Patentes (Espacenet), así como la base de datos de la OMPI, consultada a través de patentscope. En el caso del análisis bibliométrico, se consultaron las bases de datos de Scopus y de la Web of Science.

Otras fuentes de información que se consultaron para definir el entorno abarcan la Planeación Agrícola Nacional 2017 – 2030, así como requerimientos y especificaciones de la FAO para cumplir expectativas de carácter social, económico y tecnológico, orientados principalmente hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el cumplimiento de la agenda 2030 establecida a nivel mundial.

3.3 Capas de tecnología y producto (estrategia de búsqueda)

Para la elaboración de esta capa, se llevó a cabo una búsqueda de patentes, en las dos bases de datos más relevantes: la USPTO y Espacenet. Los campos de las patentes que se tomaron en cuenta fueron: título, resumen, clasificación y las reivindicaciones. Para llevar a cabo el tratamiento de la información recopilada en las patentes, se emplearon herramientas como mapa de palabras y redes de palabras, a partir de las cuales se identificaron las áreas tecnológicas

líderes, la ruta de evolución del conocimiento, los productos principales, la tecnología incluida en la maquinaria y equipo.

Por otro lado, las herramientas que se emplearon para analizar la información obtenida de las patentes son las redes de palabras, los mapas de palabras, la ruta de evolución del conocimiento y la tecnología incluida en la maquinaria y equipo. Los softwares y herramientas que se emplearon son los softwares: Matheo, Redes y Vos viewer.

Se realizaron búsquedas independientes en las dos bases de datos más importantes, la base de datos de la USPTO y la base de datos de la Oficina Europea de Patentes, concentrada en Espacenet, además de la base de datos de patentes de la OMPI, a través de PatentScope, para un periodo de tiempo desde 1989 y hasta 2019. Estas búsquedas se realizaron por medio del software Matheo Patent. Se usaron las palabras clave: agricultura y precisión, en sus respectivas traducciones al idioma inglés y restringiendo la condición para que ambas palabras estuviesen especificadas de manera contigua.

3.4 Capa de tendencias

Para el caso de la capa de tendencias, debido a que el objeto de estudio es un campo en sí, abarcó varias tecnologías susceptibles de aplicarse; se visualizó mediante datos de fuentes relevantes, tales como la Planeación Estratégica Nacional planteada en el 2017 y con horizonte de aplicación hasta el 2030. Del mismo modo, se tomó en cuenta la opinión de la OMPI por medio del informe sobre Agricultura del año 2017. En el caso de América Latina, el PROCISUR cuenta con información sobre el tema, este importante programa cuenta con la participación de Argentina, Brasil, Chile y Uruguay y ofrecen información valiosa al respecto.

Como parámetro indicativo a nivel nacional, se tomó la clasificación económica para el sector agrícola cuya información se consultó en la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Además, se revisaron los datos proporcionados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para identificar a los estados con mayor actividad agrícola.

3.5 Capa de entorno

En esta capa se revisó información relacionada con la agricultura en general, tanto a nivel nacional como a nivel mundial. En este sentido, se tomaron en cuenta las tendencias de organismos internacionales y regionales tales como la FAO, el Banco Mundial y el BID entre otros, sobre todo en relación con la Agenda 2030. A nivel nacional, y bajo el esquema del nuevo gobierno, el sector agrícola recibe un trato estratégico, por lo que se vuelve un tema de relevancia.

A nivel internacional, se revisó la situación de la agricultura tanto en los Estados Unidos de América como en Europa, esto con la finalidad de explorar los mecanismos que se aplican para fomentar e incentivar la actividad agrícola.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE PRODUCTO, TECNOLOGÍA, TENDENCIAS Y ENTORNO PARA LA TRAYECTORIA TECNOLÓGICA

En este apartado se presentan los resultados que se obtuvieron de las búsquedas de información de acuerdo con lo que se planteó en la metodología, en este sentido, se presentan los resultados de las búsquedas de patentes, las búsquedas en las bases de datos de Scopus y de Web of Science, así como de las búsquedas de información relacionadas con el entorno de la Agricultura de Precisión en algunos países seleccionados.

4.1 Resultados para la capa de producto y tecnología

Para obtener la información pertinente, se consultaron diversas bases de datos; de las principales, están las de patentes a nivel mundial, que se localizan en las oficinas de patentes de los Estados Unidos de América y en la Oficina Europea de Patentes; asimismo, se consultó la base de datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, cuyos resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de las búsquedas de patentes

Base de datos	Resultados
USPTO	821
Espacenet Worldwide	441
World Office	562

Fuente: elaborado a partir de Matheo Patent (2019).

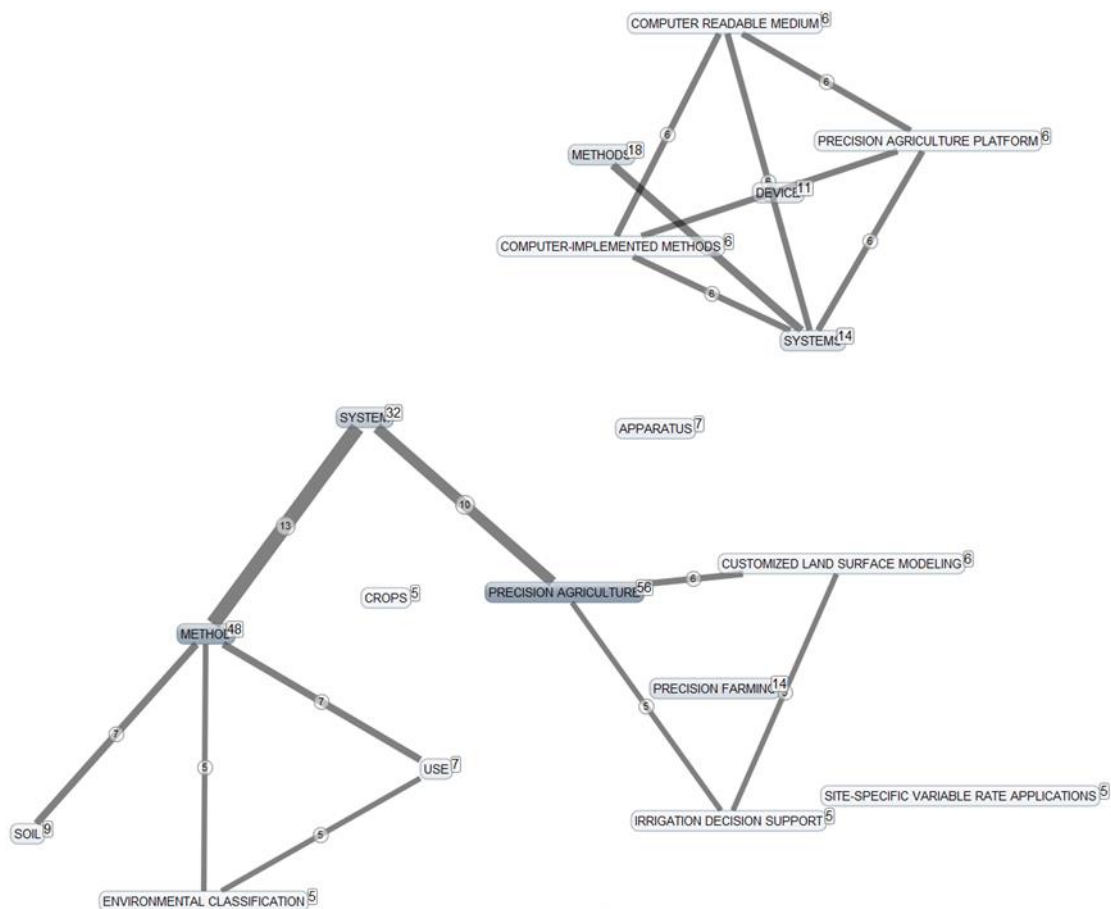
Para la estrategia de búsqueda se utilizaron las palabras clave “precision agriculture” y “precision farming” escritas entre comillas para un período de tiempo de 1990 y hasta el año 2019. Los campos que seleccionados fueron: el título de la patente, el resumen y las reivindicaciones.

4.2 Indicadores de patentes

4.2.1 Mapas de palabras

Los términos ligados con las palabras clave fueron: medio legible por computadora, método, métodos implementados por computadora, dispositivo, sistema, plataforma de agricultura de precisión, aparato, cultivos, utilizar, suelo, modelado personalizado de superficie terrestre, soporte de decisiones de riego, aplicaciones de tasa variable específica del sitio, clasificación ambiental, esto de acuerdo con los resultados obtenidos por medio del software Matheo patent (ver Figura 2).

Figura 2. Mapa de red para “agricultura de precisión”



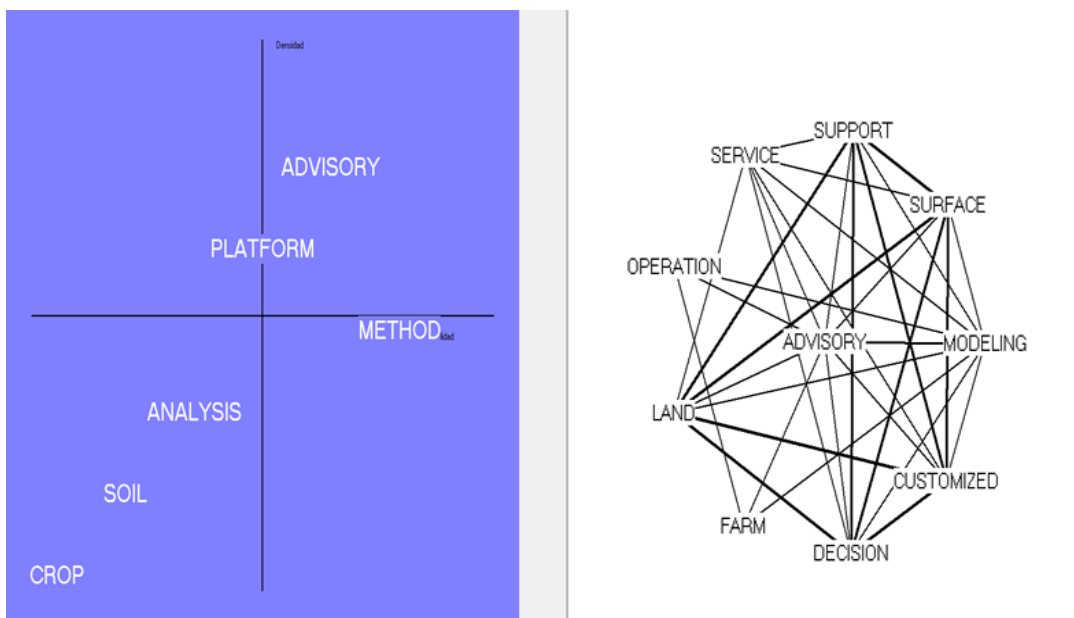
Fuente: Elaboración propia con el uso de Matheo Patent (2019).

Por otra parte, se realizó una búsqueda directamente en la base de datos de la OMPI, por medio de PatentScope, ingresando las palabras clave: “precision agriculture” or “precision farming”, obteniendo 562 documentos, cuyos títulos fueron procesados en el software redes, obteniendo los resultados que se muestran en la figura 3. En el lado derecho de la figura, se puede apreciar que el término alrededor del cual gira la temática relacionada con el término “consultor o asesor” (advisory). Términos como modelado, superficie, soporte, servicio, operación, tierra, cultivo, decisión y personalizado, se ubican en torno al término “asesor”. Además, se puede apreciar que se crean vínculos de diferente índole entre algunos términos,

como por ejemplo, “asesoramiento en el modelado de operaciones”, “decisión sobre la superficie de la tierra”, “personalización sobre las decisiones sobre la tierra”, “modelado de las operaciones de los cultivos”, “servicios de soporte sobre la superficie de tierra cultivada personalizando el modelado de las operaciones”.

Como puede apreciarse en la figura 3, en la imagen del lado izquierdo, los temas se ordenan formando una diagonal que une los cuadrantes 1 y 4. De acuerdo con estos resultados, el tema cae dentro de la categoría 1, lo cual nos indica que la red se organiza en torno a un núcleo de temas bien relacionados y desarrollados y que están en contacto con un conjunto de temas poco desarrollados y periféricos.

Figura 3. Resultado del análisis de los títulos de las patentes

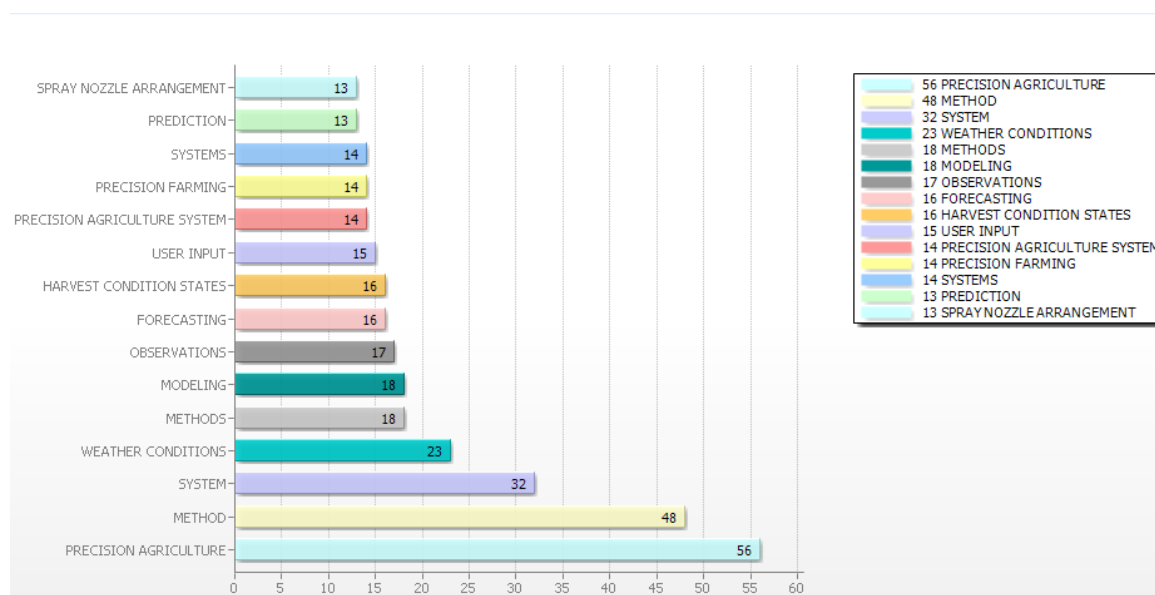


Fuente: Software redes (2019).

4.2.2 Principales temas

Los principales temas de la búsqueda de patentes están relacionados con la agricultura de precisión de manera directa, enseguida encontramos a los métodos, los sistemas, las condiciones ambientales, al modelado, las observaciones y la prospectiva. Además, encontramos temas relacionados con las condiciones en las que se encuentran los cultivos, así como las entradas de los usuarios, el sistema de agricultura de precisión, la agricultura de precisión, los sistemas, la predicción y la disposición de las boquillas de pulverización (ver figura 4).

Figura 4. Resultados de la búsqueda de patentes por tema.



Fuete: Elaboración propia con base en Matheo Patent.

4.2.3 Áreas tecnológicas líderes

Las áreas tecnológicas líderes se asocian con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) de cada una de las figuras de propiedad industrial relacionadas con el objeto de la búsqueda. La

CIP Y02A40/12 es la que más se presenta y se refiere a la agricultura de precisión, otra clasificación es la A01B79/005, la cual se refiere también a agricultura de precisión. Otra clasificación es la A01G25/09, la cual contempla sistemas de riego que utilizan instalaciones móviles sobre ruedas o similares.

Por otro lado, tenemos a la CIP G06N5/04, métodos o dispositivos de inferencia; la G06T7/0004, inspección industrial de imágenes; la G09B29/007, representación de información no cartográfica en mapas, por ejemplo, dirección de los vientos, niveles de radiación, rutas aéreas y marítimas utilizando métodos informáticos; G06N20/00, referida a aprendizaje máquina; A01B79/00, métodos para arar la tierra; H04W92/02, acuerdos de interconexión de redes; A01C21/005, siguiendo un plan específico, por ejemplo una trayectoria; G06N7/005, redes probabilísticas; G06K9/00657, reconociendo patrones en escenas remotas, por ejemplo imágenes aéreas, vegetación frente a zonas urbanas de vegetación.

4.2.4 Ruta de evolución del conocimiento

Se identificaron un total de 25 líneas de interés para la investigación, las más representativas, debido a la cantidad de documentos vinculados, son agricultura multidisciplinaria, sensores remotos, agronomía, ingeniería agrícola, ingeniería eléctrica y electrónica, ciencias de la computación y aplicaciones interdisciplinarias, ciencias del suelo, ciencias medioambientales, ciencia de las imágenes y tecnología de las fotografías, ciencias de la computación y sistemas de información, ciencias de la computación e inteligencia artificial, ciencia de las plantas, química analítica, telecomunicaciones, entre otras.

De lo anterior, se puede plantear que el término agricultura 4.0, el cual ya es una realidad en algunos países como los Estados Unidos y Alemania, cuenta con el suficiente soporte teórico

para su desarrollo e implementación, sobre todo en condiciones de agricultura protegida, condición que se apega más a una logística de una planta productiva en el sector manufacturero.

4.2.5 Principales productos

Los principales productos relacionados con la agricultura de precisión, identificados en las patentes, están relacionados con: sistemas basados en redes neuronales, redes inalámbricas de sensores, sistemas inteligentes basados en el internet de las cosas, además, se identifican sistemas, dispositivos y métodos para detección remota robótica. Así mismo, se identifican aparatos relacionados con los sistemas de posicionamiento global cinemático en tiempo real; también se encuentran dispositivos relacionados con el internet del sistema de vigilancia ambiental inteligente de las cosas aplicados a la agricultura. Por otro lado, encontramos también sistemas de gestión y seguimiento de la producción agrícola basado en el internet de las cosas. Finalmente, es posible mencionar robots de agricultura de precisión tridimensional y dispositivos de robot de agricultura de precisión.

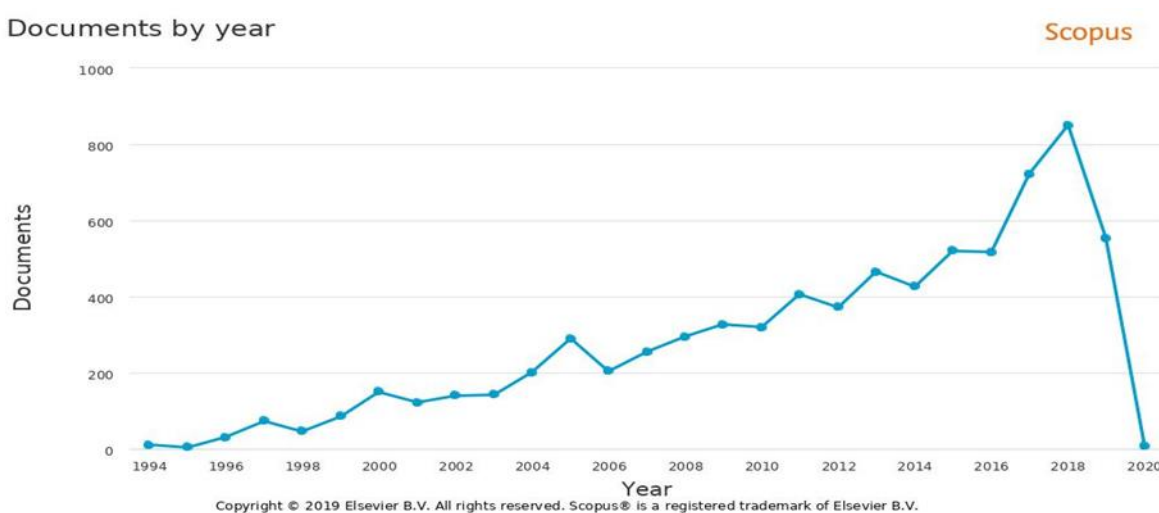
4.3 Indicadores bibliométricos

4.3.1 Resultados de las búsquedas en las bases de datos relevantes: Scopus

En este apartado, los resultados que se obtuvieron pueden ordenarse de varias formas, en este caso, se ordenaron con base a dos criterios, esto es, los resultados “más nuevos” y los resultados con mayor “relevancia”. En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos. Para realizar la búsqueda, se ingresaron las palabras “precision agriculture” or “precision farming”, obteniéndose un total de 7 575 documentos relacionados, para toda la información disponible en la base de datos desde 1994 y hasta el año 2019.

En este caso, se tomó como punto de partida el año de 1994, debido a que es en ese entonces en que las bases de datos registran los primeros documentos relacionados con este tema. Sin embargo, solamente es posible analizar 2000 resultados, esto por limitaciones del software. La información obtenida que se muestra en las figuras de este trabajo se organizó en torno a nodos y el tamaño de nodo indica la relevancia del tema que representa. En el siguiente gráfico se muestra el desarrollo de este tema durante el periodo mencionado (ver Figura 5).

Figura 5. Cantidad de artículos publicados (1994-2019)

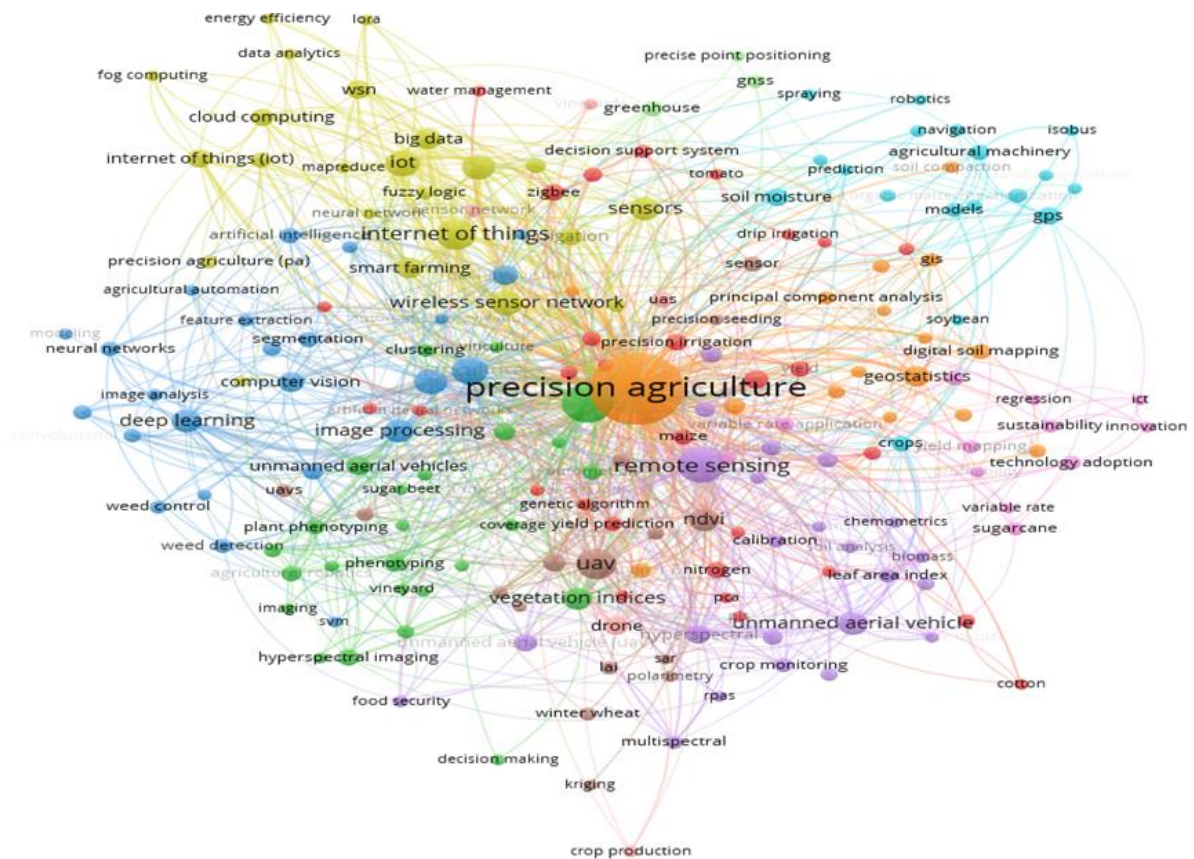


Fuente: Scopus (2019).

En la base de datos de Scopus, se llevaron a cabo varias búsquedas para identificar los temas que se relacionan con la agricultura de precisión, los resultados se ordenaron de acuerdo con dos criterios principales: los últimos resultados (figura 6) y los resultados más relevantes (figura 7). Estos datos se procesaron en el software vosviewer, el cual permite construir y visualizar redes bibliométricas construidas en base a citación, co-citación, o redes de autores. En este caso, las redes se construyeron con base en la co-citación. El tamaño de los nodos nos indica el volumen de artículos que se relacionan con cada uno de los temas que se especifican. Así mismo, esto representa la relevancia de cada término con relación hacia los demás.

Cuando los resultados se ordenan de acuerdo con lo últimos artículos que se han publicado, podemos apreciar que los sensores remotos son los que presentan mayor interés, seguidos por el internet de las cosas. En otro rango de importancia podemos apreciar temas como el procesamiento de imágenes, el aprendizaje profundo, el big data, los vehículos aéreos no tripulados (los cuales aparecen en dos nodos diferentes) y las redes de sensores inalámbricos. Además, se puede identificar la geoestadística, la visión por computadora, los sistemas de soporte de decisiones, el índice diferencial de vegetación normalizado, el cual es un índice normalizado que permite la generación de imágenes que permiten apreciar la biomasa relativa de un lugar específico con base en la intensidad del color verde.

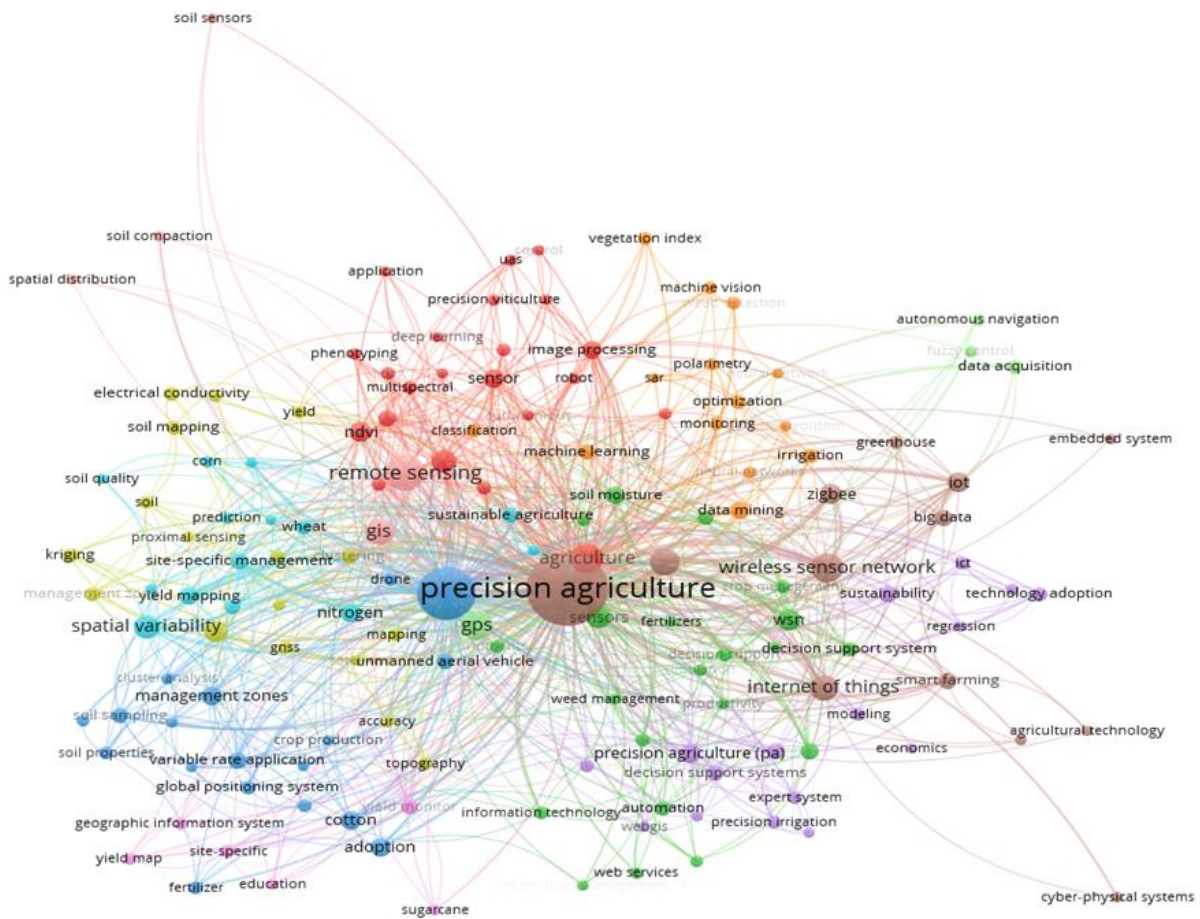
Figura 6. Búsqueda por tema “precision agriculture” or “precision farming” (últimos resultados)



Fuente: Elaboración propia a partir de Scopus (2019).

Cuando los resultados se ordenan por relevancia, tenemos que la teledetección y la red de sensores inalámbricos son los temas más importantes. Los nodos que le siguen son: el internet de las cosas y la variabilidad espacial junto con los sistemas de información geográfica (GIS) y los sistemas de posicionamiento global (GPS) (véase Figura 7).

Figura 7. Resultados por relevancia para el tema “precision agriculture” or “precision farming”.

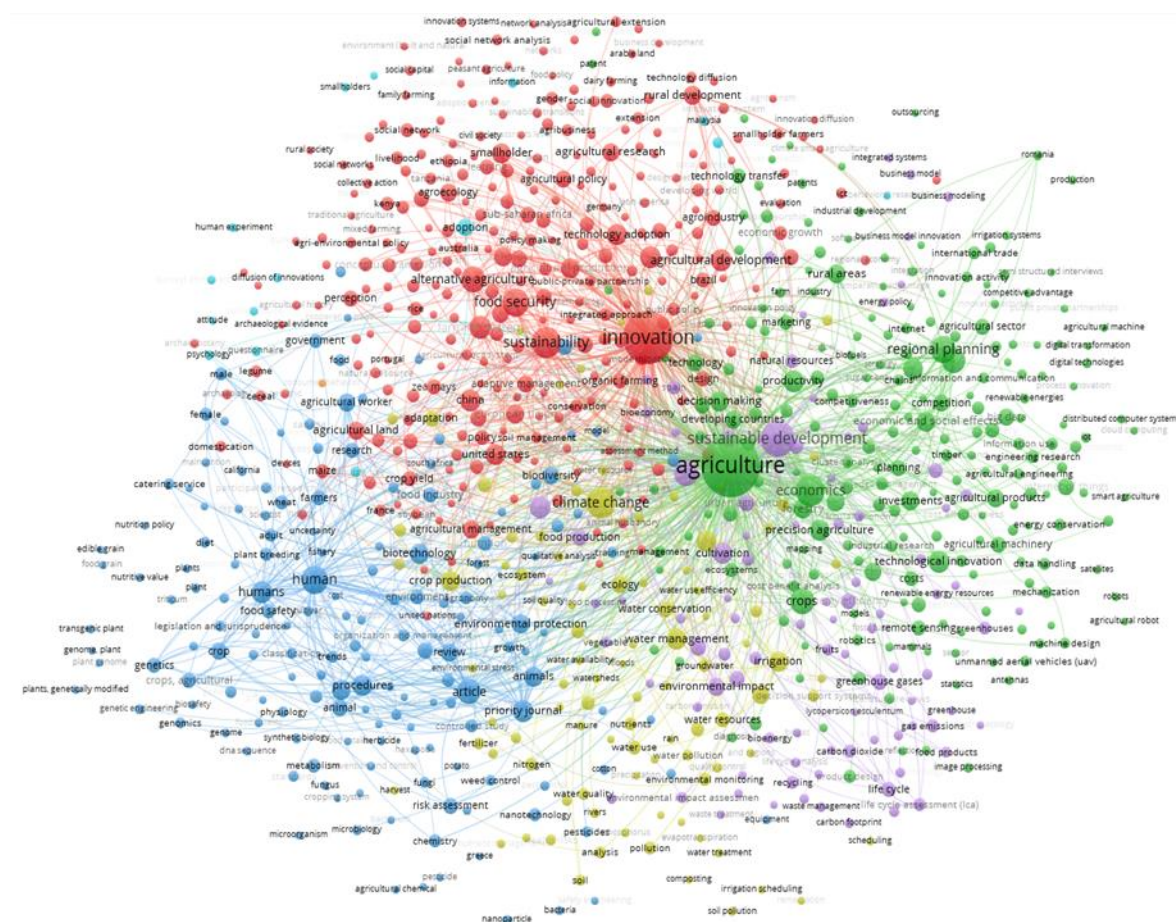


Fuente: elaboración propia a partir de Scopus (2019).

Por otro lado, también se realizaron búsquedas en la base de datos Scopus, ingresando las palabras “agriculture” and “innovation”, los últimos resultados se muestran en la figura 8 en donde se aprecia que ambos nodos, tanto el de agricultura como el de innovación, presentan un

tamaño similar, ello indica que ambos temas cuentan con una relevancia semejante; los nodos son de tamaño similar relacionados con temas como: el desarrollo sostenible, el cambio climático, la sostenibilidad, la seguridad alimentaria, la economía, la planeación regional, la gestión de la información y la agricultura alternativa, además de los sistemas agrícolas. La agricultura de precisión aparece en un rango inferior.

Figura 8. Resultados ordenados por palabras clave: “agriculture” and “innovation”.

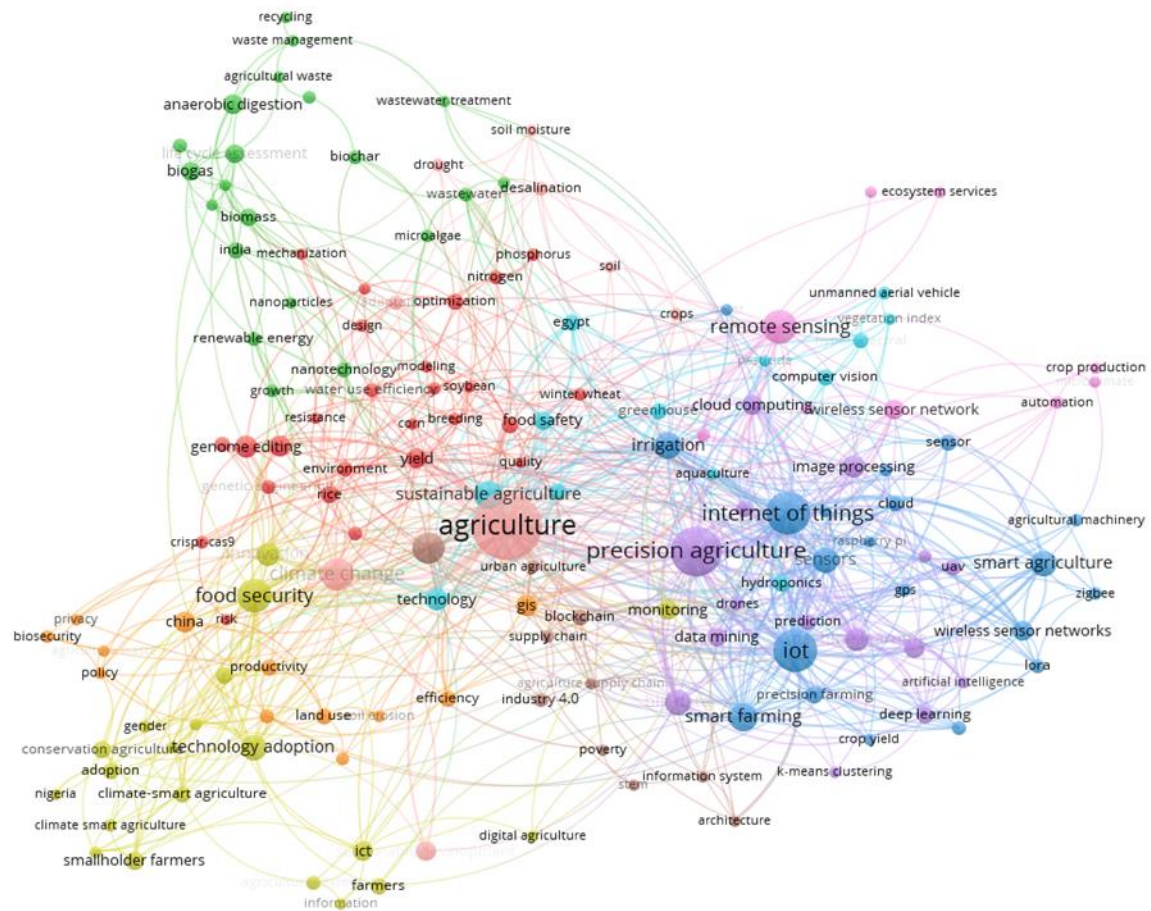


Fuente: elaboración propia a partir de Scopus (2019).

También se llevó a cabo otra búsqueda más, relacionando las palabras “agriculture” and “technology, cuyos últimos resultados se muestran en la figura 9; en ella, en primera instancia, vemos que el nodo de agricultura es mucho más grande que el de tecnología. Además, los nodos de agricultura de precisión e Internet de las cosas aparecen en tamaños prácticamente iguales. Otros temas como los sensores remotos, la seguridad alimentaria y el cambio climático aparecen en el rango subsiguiente.

Igualmente, se aprecian otros temas que se están revisando como lo son, la agricultura inteligente y la adopción de tecnología, junto con la irrigación.

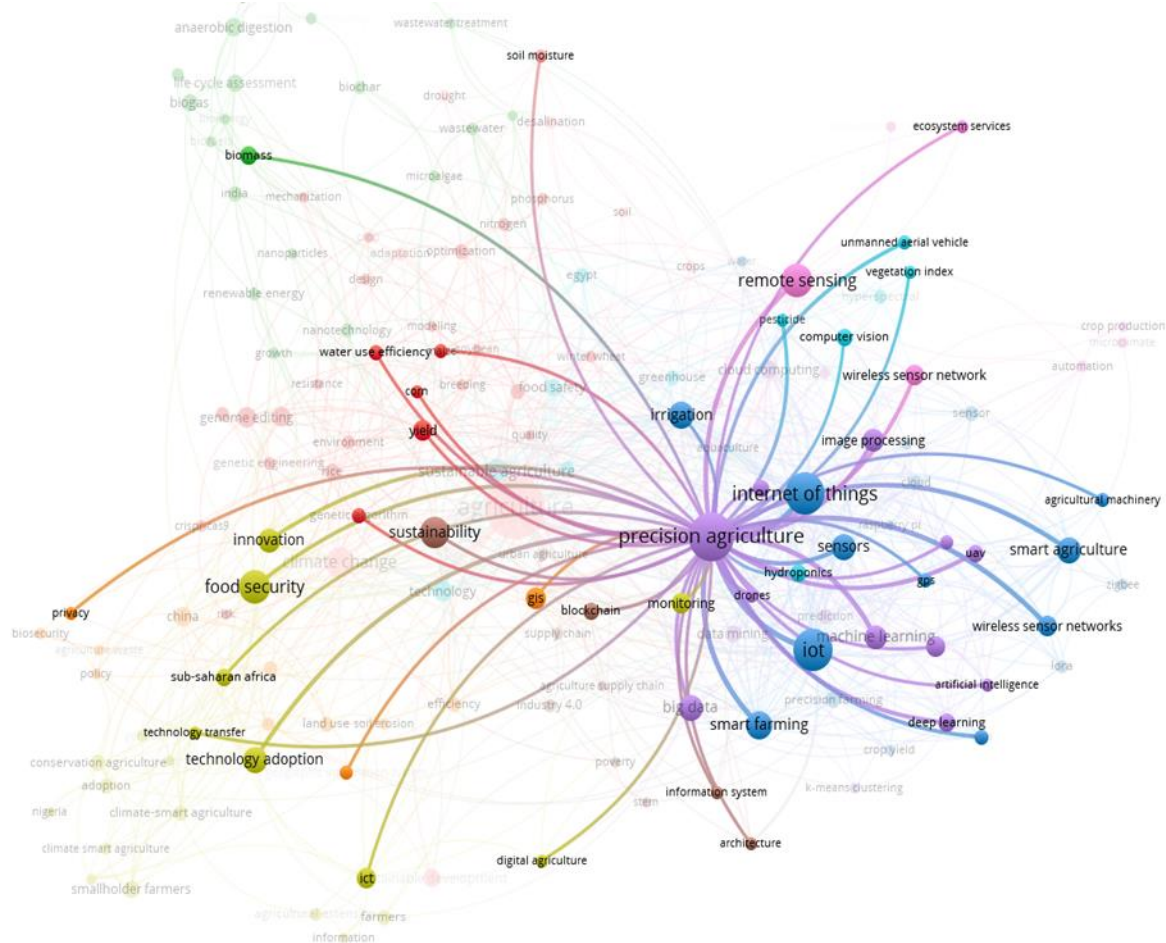
Figura 9. Resultados ordenados por palabras clave: “agriculture” and “technology”.



Fuente: elaboración propia a partir de Scopus (2019).

Aislando a la agricultura de precisión como tema central, podemos apreciar que éste se relaciona con temas como internet de las cosas, la teledetección, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria, además de otros temas como la innovación, la adopción de tecnología, el Big Data, la agricultura inteligente, el procesamiento de imágenes y la irrigación, en un estrato inferior podemos apreciar temas como las redes de sensores remotos, la maquinaria agrícola, la visión por computadora, el monitoreo, el blockchain, los sistemas de información, la transferencia de tecnología, los pesticidas, entre otros. (ver Figura 10).

Figura 10. Relación de la agricultura de precisión con diversos temas



Fuente: elaboración propia a partir de Scopus (2019).

4.4 Resultados para la capa de tendencias:

4.4.1 Resultados para la capa de tendencias situación internacional

En este apartado se presentan los resultados relacionados con las tendencias de la agricultura de manera general. De acuerdo con datos aportados por diferentes organismos internacionales, la agricultura representa un importante campo de aplicación de la tecnología y a la vez, representa una de las actividades que más interés está generando por las expectativas de crecimiento poblacional y por el cambio climático.

Los reportes de organismos como la FAO señalan que las cadenas de valor asociadas con los agronegocios son de importancia fundamental para segmentar los productos agrícolas y pecuarios y el efecto que estos tienen sobre la problemática mundial asociada con la pobreza y con el hambre. Los mercados internacionales están demandando productos orgánicos cultivados de manera natural sin el uso de fertilizantes químicos ni pesticidas. Esta tendencia obliga a los productores a tomar las medidas necesarias para satisfacer esta demanda, en este sentido, la agricultura de precisión juega un papel importante.

La Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, menciona tendencias tales como la modificación en los patrones de consumo, direccionados por los ingresos, los cambios sociales y demográficos, así como la incorporación de servicios en la alimentación, la publicidad y aspectos nutricionales. Además, aparece la nutrición y la salud, aspecto relacionado con el acceso a alimentos que se perciben como más nutritivos, como es el caso de la carne, los lácteos, las frutas y las hortalizas. Así mismo, menciona al desarrollo tecnológico y la innovación como aspecto esencial para poder producir mayor cantidad de alimentos, sanos y libres de plagas y enfermedades.

4.4.2 Resultados para la capa de entorno

En la capa de entorno se debe tomar en cuenta nuevamente las disposiciones de los organismos internacionales, los cuales direccionan las tendencias de la problemática en general y de la agricultura y la alimentación en particular. En este sentido, se identifica que se está promoviendo a la agricultura climáticamente inteligente como una práctica que toma en cuenta los factores ambientales y la optimización de los recursos para la producción de alimentos. Toda esta temática está contemplada dentro de la agricultura de precisión.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son 17 directrices promovidas por la Organización de las Naciones Unidas para contribuir al cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ver anexo 3). Los objetivos relacionados con el tema se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con “Agricultura de precisión”.

	Objetivo	Descripción
2	Hambre cero	Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
6	Agua limpia y saneamiento	Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
8	Trabajo decente y crecimiento económico	Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9	Industria, innovación e infraestructura	Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
12	Producción y consumo responsables	Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13	Acción por el clima	Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Fuente: FAO, 2016.

4.5 Mapa de ruta tecnológico (trayectoria tecnológica), análisis y discusión

4.5.1 Metodología MRT

La metodología para la generación del mapa de ruta de la tecnología contempla las capas de recursos, tecnología, producto, tendencias y entorno. De acuerdo con la búsqueda de información, tanto en patentes como en artículos científicos, información publicada en internet por parte de organismos relevantes.

4.5.2. Principales hallazgos por capa

4.5.2.1 Producto y tecnología

En esta área se identificaron productos relacionados con la gestión de la información así como la generación de plataformas para el manejo de esta y favorecer la toma de decisiones. El internet de las cosas, el big data, los sensores remotos, las fotografías aéreas son algunas de las tecnologías que se pueden identificar. Evidentemente los productos de interés se están desarrollando para cubrir necesidades de estas tecnologías.

Así mismo, se pudieron identificar al menos dos tipos de tecnologías, tal como lo expone la OMPI, en el primer grupo tenemos a las herramientas de decisión computacional, la nube (cloud computing), sensores, robots y herramientas de comunicación digital. En el segundo grupo se ubican tecnologías como la geolocalización, los Sistemas de Información Geográfica (GIS), los monitores de campo, los muestreos de precisión del suelo, los sistemas aéreos no tripulados, la detección de reflectancia espectral tanto próxima como remota, los sistemas de autodirección y guía, las tecnologías de ajuste variable y las computadoras a bordo.

4.5.2.2 Entorno

El entorno actual de la agricultura está inmerso en un problemática relevante; por un lado, es la actividad encargada de proporcionar las herramientas para la producción de alimentos, y por el otro, representa una de las que más afecta el medio ambiente y el cambio climático. En este sentido, son de vital importancia el uso óptimo de los recursos como el agua y la aplicación de los nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo. La demanda de productos naturales, sin contaminantes, aumenta en todos los estratos sociales y económicos.

Tabla 10. MRT para la agricultura de precisión, análisis y discusión

Entorno	Cambio climático Objetivos de Desarrollo Sostenible Política medioambiental Adopción de Tecnología Política agrícola Política Científica y Tecnológica		Aumento de la población Seguridad Alimentaria Industria 4.0 Superficie agrícola (limitada o en proceso de limitarse)	
Tendencias	Productos orgánicos, Agricultura climáticamente inteligente, Servicios ecosistémicos	Uso preciso de los recursos, Incremento de productividad, agricultura urbana	Agricultura protegida (Invernaderos de alta y baja tecnología, túneles y micro túneles)	Inteligencia Artificial, Agricultura 4.0 Aprendizaje profundo
Producto	Sensores remotos, monitores de rendimiento	Procesadores y dispositivos para almacenar la información.	Cámaras hiperspectrales, métodos para detección remota robótica, vehículos aéreos no tripulados	Sistemas basados en redes neuronales, redes inalámbricas de sensores, sistemas inteligentes basados en el internet de las cosas
Tecnología	Internet de las cosas, GIS	Big data, procesamiento de imágenes	Plataformas para gestionar la información	Medición de tasa variable,
Recursos	Capital Humano Extensionismo	Centros de Investigación, Universidades	Centros de Desarrollo Tecnológico (FIRA)	Planeación regional, Gobierno, OTTs

Fuente: Elaboración propia

La agricultura es la principal fuente de alimentos para la humanidad, actualmente existen grandes presiones por parte de los organismos internacionales, los cuales están visualizando una problemática importante en el mediano plazo, para alimentar a una población que crece constantemente. Todas las opiniones coinciden en que la innovación tecnológica es la fuente de donde saldrán las soluciones para estas problemáticas.

Por otro lado, el cambio climático y el deterioro medioambiental propiciado principalmente por la actividad agrícola y pecuaria son el foco de atención tanto de los organismos internacionales como de los gobiernos de la gran mayoría de países. La superficie agrícola es finita, más aún si se toma en cuenta la conservación de los recursos naturales como los bosques y selvas.

Las tendencias están marcadas por tópicos promovidos principalmente por la ONU a través de la FAO, tales como la agricultura climáticamente inteligente, la cual se puede considerar como una variante de la Agricultura de Precisión, cuyo ámbito es susceptible de servir de plataforma para los servicios ecosistémicos. La agricultura protegida reforzada por la agricultura 4.0 tiende a convertirse en un campo óptimo para dar soluciones en apartados agrícolas como las hortalizas principalmente.

En el caso de cultivos como el maíz, el trigo, el sorgo o el frijol, los cuales requieren de grandes extensiones de tierra, la AP ofrece productos como las cámaras hiperespectrales, así como las redes de sensores para recopilar información. Es importante señalar que la AP en sí no requiere de tecnología costosa, más bien requiere que la tecnología se incorpore de diferentes maneras, adaptándose a las condiciones socioeconómicas de las diferentes regiones.

Los productos relacionados con la AP tienden a ser caros, y esta situación puede dificultar su adquisición, sin embargo, y debido a que la tecnología permite llegar de manera

indirecta a todas partes, se abre una oportunidad para la integración de nuevos servicios, los cuales sean promovidos por capital humano altamente capacitado.

La tecnología de la AP está siendo dirigida hacia la Agricultura 4.0 y hacia la inteligencia artificial y actualmente pasa por tópicos como el internet de las cosas, el big data, el procesamiento de imágenes, las plataformas computacionales para gestionar la información.

La aplicación de la AP en condiciones de agricultura industrial también permite el desarrollo de un sistema de mejoramiento continuo similar al que se aplica en la industria manufacturera, siguiendo el ciclo que la define: recolección de datos, análisis e implementación.

Finalmente, los recursos tales como el Capital Humano integrado en el extensionismo y apoyado por los Centros de Investigación y las Universidades, son el medio para promover la AP. Así mismo, los Centros de Desarrollo Tecnológico son el medio para promover la AP, apoyados por la planeación nacional, regional, estatal y municipal, promovida por los diferentes niveles de gobierno y apoyadas por las OTTs.

Por medio de las tecnologías relacionadas con la AP es posible realizar una serie de acciones estratégicas encaminadas a mejorar el desempeño general de la producción en el campo mexicano, tanto en condiciones de riego como de temporal. En primera instancia, se requiere monitorear por medio de las tecnologías satelitales, el estado en el que se encuentran las tierras de cultivo para posteriormente emitir recomendaciones sobre las acciones que deben seguirse, tanto por parte de las autoridades federales, estatales, municipales, llegando hasta el nivel ejidal.

Acciones estratégicas propuestas

Monitoreo satelital. Con esta acción, se plantea la identificación de indicadores tales como el porcentaje de tierras cultivadas por ejido, porcentaje de tierras “no cultivadas” por ejido;

estos dos parámetros tendrían que tener un seguimiento por ciclo de cultivo. Otro indicador a documentar, es la cantidad de tierras que no se han cultivado durante un período de tiempo superior a cinco años, además de la identificación de cuerpos de agua artificiales.

Seguimiento. Con la información recabada durante el monitoreo satelital, promover la creación de incentivos a nivel ejidal para mejorar y maximizar los indicadores propuestos, así mismo, se deben promover, incluso financiar el uso de tecnologías para la eficiente captación del agua, como es el uso de la geomembrana, además de la adopción de tecnologías para el riego, las cuales garanticen el uso más eficiente del agua.

Bajo este esquema se está proponiendo básicamente, la gestión eficiente del agua de riego, disponible a través de los distritos de riego y de la perforación de pozos profundos para agua de riego. Por otro lado, se plantea la captación del agua de lluvia, aprovechando las condiciones orográficas favorables en prácticamente todo el país. Finalmente, debido a que la disponibilidad de tierra de cultivo es un factor determinante, se plantea maximizar el aprovechamiento de las tierras “registradas” como cultivables.

Zhang et al., (2002, pág. 125) menciona algunas barreras que deben superarse antes de implementar las tecnologías de la Agricultura de Precisión de manera eficiente:

- 1. Desbordamiento de datos para gestionar los lotes. Este reto requiere superarse desarrollando herramientas para integrar datos, sistemas expertos y sistemas de soporte de decisiones.*
- 2. Falta de procedimientos y estrategias racionales para determinar los requisitos de aplicación de forma localizada y falta paralela de evidencia científicamente validada de los beneficios reclamados para el concepto de la AP.*
- 3. Recolección de datos costosa y laboriosa. El desarrollo de sistemas de detección rápida debe realizarse antes de que la AP pueda practicarse ampliamente.*

4. *Falta de canales y personal de transferencia de tecnología. Se requiere de programas educativos que involucren a investigadores, industria, especialistas en extensión y consultores.*

CONCLUSIONES

Las tecnologías de la agricultura de precisión (AP) permiten identificar aspectos como el porcentaje de tierras cultivadas por ejido, por medio de las fotografías satelitales. Este indicador, si se explora adecuadamente, puede ofrecer soluciones importantes, ya que permite identificar la cantidad de tierras abandonadas, las cuales pueden y deben reincorporarse al cultivo.

La tecnología representa un medio para sistematizar el conocimiento. La agricultura representa un área del conocimiento practicada durante mucho tiempo por el ser humano, toda vez que representa una forma de hacerse con los medios para alimentarse. Este conocimiento implica una interacción con el entorno natural y geográfico que obliga al hombre a observar en todos los sentidos. El hombre es inteligente por naturaleza y en sus prácticas de cultivo es capaz de identificar todos los aspectos relacionados con la práctica de la agricultura.

La agricultura de precisión representa una opción para registrar el conocimiento con el que cuentan los productores de las diferentes regiones de México. Actualmente se está dando una transición generacional dividida por los avances tecnológicos. Por un lado, tenemos a una generación de hombres que cuentan con conocimientos tradicionales y que saben de prácticas relacionadas con la aplicación de técnicas que toman en cuenta aspectos diferentes de los que se consideran en la agricultura industrial proveniente de los países más adelantados.

Gran parte del conocimiento tradicional con el que cuentan los campesinos, agricultores y asalariados mexicanos está en riesgo de perderse, debido a que se encuentra en forma de conocimiento tácito, en este sentido, las tecnologías de la AP ofrecen la posibilidad de

convertirlo en conocimiento explícito y de esta manera ponerlo a disposición del sistema productivo agrícola, no solo mexicano, sino de cualquier país.

La Agricultura de Precisión es un área de conocimiento que integra a otras áreas temáticas tales como la computación, la robótica, la ingeniería mecánica, la ingeniería eléctrica, los instrumentos y la química. El advenimiento de la cuarta revolución industrial es un acontecimiento susceptible de ser aprovechado por todos los sectores, incluyendo la agricultura. En los países más adelantados, ya se están llevando a cabo desarrollos tecnológicos relacionados con la gestión óptima de los recursos relacionados con la producción de alimentos.

De acuerdo con el trabajo realizado, existe interés de parte de la comunidad científica por trabajar en el campo de la agricultura de precisión, la cual es compatible con la agricultura climáticamente inteligente promovida por organismos internacionales. Las condiciones de tenencia de la tierra, así como las condiciones topográficas son factores que deben tomarse en cuenta como situaciones particulares para la gestión de los productos y sistemas desarrollados dentro de la agricultura de precisión.

Algo que parece limitar la aplicación de la agricultura de precisión es la situación de la oferta de internet en zonas rurales, la cual no es la más adecuada. A pesar de esto, es posible encontrar alternativas para operar con estas tecnologías, lo importante es crear las condiciones para que los productores desarrollen en interés de involucrarse con aspectos relacionados con el conocimiento, la ciencia y la tecnología. En este sentido, la política pública juega un papel importante y el cual debe ser tomado en cuenta por parte de los hacedores de política. En este mismo sentido, la gestión de los recursos tanto naturales como materiales y humanos debe ser objeto de la política pública.

La agricultura de precisión es un tema que puede integrarse de una manera muy efectiva con otras tecnologías de producción agrícola, tales como los invernaderos, y otras formas de agricultura protegida, además de los sistemas hidropónicos.

Se requiere de la interacción de los agricultores o en su caso, de actores interesados en la potencialización de la gestión de los cultivos, junto con las tecnologías disponibles dentro de la AP. La observación directa de distintas variables ya sea propuesta de manera formal, o bien identificadas de acuerdo con el conocimiento tácito, son muy importantes ya que en un paso subsiguiente, éstas se pueden incorporar dentro del proceso de la AP.

Aquí lo importante es considerar a la AP como un sistema de gestión o bien como un proceso de mejora continua, el cual debe alimentarse y retroalimentarse con información de los usuarios, los cuales colaboran con tareas de gestión, y deben ayudarse de dispositivos y herramientas tecnológicas para llevar a cabo la medición de datos precisa.

La visión y mentalidad de muchos agricultores es totalmente práctica y ellos buscan soluciones rápidas y confiables a los problemas que se les presenta a lo largo de cada ciclo productivo. Bajo esta perspectiva, es importante enlistar las diferentes etapas que deben cubrirse a lo largo de cada ciclo de cada tipo de cultivo, así como también tomar en cuenta las variables climáticas, ya que es diferente un ciclo productivo en temporada de lluvias que otro en temporada en la que no hay lluvias.

Esta sistematización del conocimiento sobre los sistemas de producción de cada cultivo puede y debe gestionarse con la tecnología. Adicionalmente, tanto los ingenieros agrónomos como los técnicos agrícolas juegan un papel importante para llevar a cabo actividades de corte científico y tecnológico en temas que así lo requieran, tales como análisis de suelos, medición

y registro de variables meteorológicas, incidencia y persistencia de plagas y enfermedades entre otros.

Debido a que en México y sobre todo en los estados del centro del país hacia el sur, las propiedades de los agricultores son pequeñas, la AP, debe promoverse desde el sector público, facilitando información relevante por medio de fotografías aéreas y acercando laboratorios de análisis de suelos a los usuarios.

Debido a que el agua es quizá el recurso más valioso en la agricultura, es importante promover su captación, así como incorporar la tecnología en su almacenamiento, por medio del uso de plásticos para evitar su filtración. Una vez que se cuente con agua almacenada, será fácil su gestión usando las tecnologías tradicionales de riego, tales como el riego por goteo o el riego por aspersión con la posibilidad de incorporar componentes electrónicos para su adecuada dosificación.

La distribución del agua hacia los distintos distritos de riego es el principal canal de abastecimiento de este fundamental recurso. Es importante tecnificar los canales de distribución revistiéndolos ya sea con concreto o con película plástica para maximizar su aprovechamiento. La visión de los ejidatarios pudiera parecer limitada, sin embargo, introduciendo conceptos y capital humano calificado y confiable, es posible inyectar una dosis revitalizadora al campo mexicano, con prácticas, técnicas y tecnologías novedosas con altas posibilidades de ser aprovechadas en beneficio del incremento en la productividad tales como las tecnologías de la Agricultura de Precisión.

La agricultura de precisión, desde su acepción misma, está orientada hacia la optimización de los recursos, aunque hoy en día se ha dado una vertiente con más demanda, la cual se enfoca en monitorear los rendimientos y en identificar deficiencias a lo largo del campo

de cultivo. Como es de esperarse, el usuario por lo general se rige por la ley del mínimo esfuerzo y se enfoca en adquirir aquellas tecnologías que no le exijan demasiado, como es el caso de las semillas mejoradas, las cuales solamente se adquieren y se colocan en el suelo.

Si se toma en cuenta este aspecto, es fácil comprender el éxito que tiene la biotecnología moderna, ya que ésta permite manipular genéticamente el germoplasma para inducir resistencia hacia enfermedades y plagas. Este enfoque es el que debe postularse dentro de la AP, gestionando los datos y sistemas necesarios para facilitar a los usuarios su aplicación.

Tal vez el aspecto más importante a trabajar sea el de la adopción de tecnología, el cual requiere de un cambio en la mentalidad del usuario. Así como sucede con la industria manufacturera, en el caso de la agricultura, se requiere de la conformación de equipos de trabajo multidisciplinarios enfocados en soluciones prácticas integrando los conocimientos tácitos de los productores. Así mismo, se requiere que poco a poco, la tecnología tome las riendas de manera autónoma para asegurar que la conducta humana no sea un factor que impida el máximo aprovechamiento de los recursos.

Temas para futuras investigaciones

McBratney et al. (2005), señalan seis cuestiones críticas de investigación para desarrollar el concepto de AP en todo su potencial:

- a) Criterios apropiados para la evaluación económica de AP.
- b) Reconocimiento insuficiente de la variación temporal.
- c) Falta de enfoque en toda la propiedad.
- d) Métodos de evaluación de la calidad de los cultivos.
- e) Seguimiento y trazabilidad del producto.
- f) Auditoría ambiental.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, E., & Astudillo, F. (2000). Propiedad intelectual, agricultura y comercio ante el nuevo milenio. IICA. Investigación agrícola y propiedad intelectual en la América del Sur, 13-22.
- Barrientos, A., & del Cerro, J. (24 de 02 de 2016). www.interempresas.net, obtenido de <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/151745-El-uso-de-robots-en-tareas-agricolas.html>
- Batte, M. T. (2003). Precision farming adoption and use in Ohio: case studies of six leading-edge adopters. *Computers and Electronics in Agriculture*, 38 (2), 125-139.
- Bongiovanni, R. M. (2006). Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo: Procisur/IICA.
- Bray, O., & García, M. (1997). *Fundamentals of Technology roadmapping*. Sandia National Laboratories.
- Cho, Y. Y. (2016). An industrial technology roadmap for supporting public R&D planning. *Technological Forecasting and Social Change*, 106, 1-12.
- Conacyt. (14 de Octubre de 2019). www.conacyt.gob.mx. Obtenido de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/desarrollo-tecnologico-e-innovacion>
- Cornell University, INSEAD, & WIPO. (2017). *The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World*. Ithaca, Fontainebleau and Geneva.

- Domínguez, L., & Brown, F. (2004). Medición de las capacidades. *Revista de la CEPAL*, 83, 135.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3), 147-162.
- Dutrénit, G. (2000). *Learning and knowledge management in the firm: from knowledge accumulation to strategic capabilities*. Edward Elgar Publishing.
- Escorsa, C., & Valls, J. (2005). *Innovación Tecnológica en la Empresa*. Barcelona: Alfaomega.
- Evenson, R., & Westphal, L. (1994). Technological Change and Technology Strategy. *Handbook of development economics*, 3, 135.
- Everett, R. (1995). *Diffusion of innovations*. New York: The Free Press.
- FAO. (14 de Octubre de 2019). *fao.org*. Obtenido de <http://www.fao.org/innovation/es/>
- Floyd, C. (1997). *Managing technology for corporate success*. Hampshire, England: Gower Publishing, Ltd.
- Floyd, C. (1997). *Managing technology for corporate success*. Hampshire, England: Gower Publishing Limited.
- García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de Precisión. *Revista Ciencia y Tecnología*, 99-116.

- García, R., & Calantone, R. (2002). A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. *The Journal of Product Innovation Management*, 19 (2), 110-132.
- Gülbahar, Y. (2007). Technology planning: A roadmap to successful technology integration in schools. *Computers & Education*, 49(4), 943-956.
- Heermann, D., Hoeting, J., Thompson, S., Duke, H., Westfall, D., Buchleiter, G., & Fleming, K. (2002). Interdisciplinary irrigated precision farming research. *Precision Agriculture*, 47-61.
- Jaffe, A. B. (2002). Environmental policy and technological change. *Environmental and resource economics*, 22(1-2), 41-70.
- Just, R. E. (1979). Technological change in agriculture. *Science*, 206(4424), 1277-1280.
- Kessler, M., & Lowenberg-DeBoer, J. (1999). Regression Analysis of Yield Monitor Data and Its Use in Fine Tuning Crop Decisions. En R. P.C., W. Rust, & L. W.E., *Precision Agriculture* (pages. 821-828). Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA.
- Leiva, F. R. (2003). La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista. In *Memorias VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos*, Vol. 93, 997-1006.
- López, E. D. (2012). Factores de la empresa y del empresario asociados con las capacidades tecnológicas de algunas Pymes metalmecánicas en México. *Economía*, (33), 85-106.
- Mantovani, E. C. (2014). *Manual de agricultura de precisión*. Montevideo: IICA, PROCISUR.
- Marote, M. (2010). Agricultura de precision. *Ciencia y tecnología*, 10, 151.

- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., & Bowma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision agriculture*, 6(1), 7-23.
- McBride, W., & Daberkow, S. (2003). Information and the adoption of precision farming technologies. *Journal of Agribusiness* 21 (345-2016-15210), 21-38.
- Mohammed, A. J. (14 de Octubre de 2019). www.onu.org.mx. Obtenido de <http://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>
- Moreenthaler, G., Khatib, N., & Kim, B. (2003). Incorporating a constrained optimization algorithm into remote sensing/precision agriculture methodology. *Acta Astronáutica* 53(4-10), 429-437.
- Mulla, D. J. (2013). Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, 11(4), 358-371.
- Nai-gian, Z., Mao-hua, W., & Ning, W. (2002). Precision Agriculture - a worldwide overview. *Computers and electronics in Agriculture*.
- Negrete, J. C. (2017). Precision agriculture in Mexico; current status and perspectives. *International Horticulture*, 7(10), 75-81 (doi: 10.5376/ijh.2017.07.0010).
- OECD (2006). *Manual de Oslo Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. París: OCDE.
- OMPI. (2004). *WIPO Intellectual Property Handbook*. Ginebra.
- OMPI. (19 de mayo de 2019). Obtenido de wipo.int:
https://www.wipo.int/export/sites/www/ipstats/es/statistics/patents/pdf/patent_stats_methodology.pdf

- ONU. (16 de agosto de 2019). www.onu.org.mx. Obtenido de <http://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>
- Ortiz-Villalobos. (2016). COTEC 1990-2015 Un cuarto de siglo impulsando la innovación. Madrid: Fundación Cotec para la Innovación.
- Phaal, R. (2015). Roadmapping for strategy and innovation. Centre for Technology Management, Institute for Manufacturing, University of Cambridge.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). Technology Roadmapping: linking technology resources to business objectives. University of Cambridge.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2004). Technology roadmapping - a planning framework for evolution and revolution. *Technological forecasting and social change*, 71(1-2), 5-26.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2015). Roadmapping for strategy and innovation. *Centre for Technology Management*, 47(March), 1-7.
- Romijn, H. (1999). Technology support for small industries in developing countries: From "Supply-push" to "Eightfold-C". Centro di Studi Luca d'Agliano.
- SAGARPA. (01 de julio de 2015). http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/normatividad_agropecuaria/Normatividad_TGEBAP.pdf. Obtenido de www.infosiap.siap.gob.mx: http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/normatividad_agropecuaria/Normatividad_TGEBAP.pdf

- Santillán, O., & Rentería, M. (Octubre de 2018). Agricultura de Precision. CDMX. Obtenido de <https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/index.php/notas/76-15-agricultura-de-precision-n>
- Seelan, S., Laguette, S., Casady, G., & Seielstad, G. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88 (1-2), 157-169.
- Storey, D. J. (1998a). New technology-based firms in the European Union: An introduction. *Research Policy*, 26, 933-946.
- Tilman, D. F. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 281-284.
- Tran, D. V. (2006). The concept and implementation of precision farming and rice integrated crop management systems for sustainable production in the twenty-first century. *International Rice Commission Newsletter (FAO)*, 55, 91-102.
- UNCTAD. (2013). Mexico's Agriculture development: Perspectives and outlook. New York and Geneva: United Nations.
- Van Es, W., & Woodard, J. (2017). Innovation in Agriculture and Food Systems in the Digital Age. En I. a. Cornell University, *The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World* (págs. 97-104). Ithaca, Fontainebleau and Geneva: Cornell University, INSEAD and World Intellectual Property Organization.
- Vilaboa, I. (11 de Noviembre de 2018). www.tec.mx. Obtenido de <https://tec.mx/es/noticias/veracruz/educacion/agricultura-de-precision-la-nueva-alternativa-sustentable-opinion>

- Villavicencio, D. &. (1994). Transferencia de tecnología y aprendizaje tecnológico: reflexiones basadas en trabajos empíricos.
- Whalen, P. J. (2007). Strategic and technology planning on a roadmapping foundation. *Research-Technology Management* 50, no. 3, 40-51.
- Yang, G. &. (2003). Intellectual property rights, licensing and innovation. The World Bank.
- Zahra, S. A. (2000). International expansion by new venture firms: International diversity, mode of market entry, technological learning and performance. *Academy of Management journal*, 43(5), 925-950.
- Zhang, N. W. (2002). Precision agriculture -a world wide overview. *Computers and electronics in agriculture*36, no. 2-3, 113-132.

ANEXOS

Anexo 1

Sistema de Clasificación de América del Norte.

En el Sistema de Clasificación de América del Norte (SCIAN), la agricultura se ubica en el sector primario, definido éste como el conjunto de actividades que aprovechan los recursos de la naturaleza, los cuales no han experimentado una transformación previa. De acuerdo con este clasificador, el subsector agrícola comprende las unidades económicas dedicadas a las actividades relacionadas con la explotación de especies vegetales, cultivadas en terrenos, predios, parcelas, huertos, invernaderos y viveros; esta parte del codificador comprende 5 ramas, 18 subramas y 54 clases de actividad.

Con base en la matriz de insumo producto de 2008, es posible identificar que las necesidades de insumos de 48 ramas de la economía se satisfacen con producción nacional. Debido a la interrelación que la agricultura tiene con otros sectores, requiere insumos de 245 ramas de un total de 262; participa del 2.0 % del PIB nacional y emplea a 5.6 millones de trabajadores. De la información anterior se deduce que la agricultura es una actividad de gran importancia, ya que provee alimentos tanto para consumo humano como animal, suministra materias primas a la industria, obtener divisas por las exportaciones además de que genera empleo e ingreso a un gran porcentaje de la población, motivo por el cual se resalta su importante contribución al desarrollo autosuficiente y la riqueza de la nación. (Fuente SIAP, 2015).

Anexo 2

Fondo de innovación tecnológica

Es un fondo sectorial constituido y fue instituido en el año de XXXX, con la finalidad de fomentar iniciativas de innovación de Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPyMEs) de Base Tecnológica, así como de Startups y personas físicas con actividad empresarial que realicen proyectos de innovación tecnológica, significativos y con alto potencial de ser colocado en el mercado como innovaciones tecnológicas.

Este fondo también impulsó propuestas que consideran la incorporación de recursos humanos de alto nivel académico y demás recursos materiales de laboratorios y adecuación de áreas de prueba que refuercen sus capacidades tecnológicas internas para el desarrollo de nuevos productos, procesos, métodos de comercialización u organización.

Este fondo apoyó proyectos con niveles de maduración tecnológica del 4 al 9, de acuerdo con la escala de clasificación TRL de la NASA:

Etapas 4. Validación de componente en un ambiente operativo simulado.

Etapas 5. Componentes validados en ambientes significativamente reales.

Etapas 6. Prototipos validados y demostrados en ambientes significativamente reales.

Etapas 7. Prototipos demostrados en ambientes operativos (simulaciones con parámetros reales / industriales / pruebas clínicas fases II y III).

Etapas 8. Sistemas / productos terminados (certificaciones).

Etapas 9. Sistemas / productos demostrados en ambientes / usuarios reales (primer lote de productos en el mercado). (Fuente, Conacyt).

Anexo 3

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En septiembre de 2015 la ONU propuso la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. En ella se plantearon 17 Objetivos:

	OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
1	Fin de la pobreza	Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2	Hambre cero	Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3	Salud y bienestar	Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas y todos en todas las edades.
4	Educación de calidad	Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todas y todos.
5	Igualdad de género	Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.
6	Agua limpia y saneamiento	Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
7	Energía asequible y no contaminante	Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
8	Trabajo decente y crecimiento económico	Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9	Industria, innovación e infraestructura	Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10	Reducción de las desigualdades	Reducir la desigualdad en y entre los países.
11	Ciudades y comunidades sostenibles	Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12	Producción y consumo responsables	Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13	Acción por el clima	Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14	Vida submarina	Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15	Vida de ecosistemas terrestres	Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica.
16	Paz, justicia e instituciones sólidas	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17	Alianzas para lograr los objetivos	Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Fuente: Elaboración propia con base en información de (ONU, 2019).