



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO- ADMINISTRATIVAS

DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

AGRICULTURA 4.0 EN MÉXICO: ¿PRESAGIO DE PROGRESO COMPARTIDO?

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

Presenta:

Jesús Alan Elizondo Flores

Bajo la supervisión de: Dr. Ramón Valdivia Alcalá

Chapingo, Estado de México, septiembre de 2024



HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Agricultura 4.0 en México: ¿Presagio de progreso compartido?

Tesis realizada por Jesús Alan Elizondo Flores bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

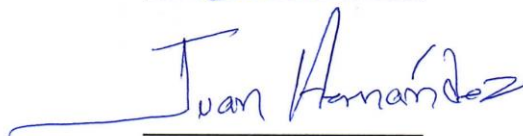
Doctor en Ciencias en Economía Agrícola

FIRMA

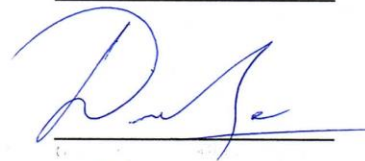
Director: Dr. Ramón Valdivia Alcalá



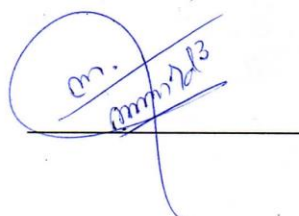
Asesor: Dr. Juan Hernández Ortiz



Asesor: Dra. Dixia Dania Vega Valdivia



Lector Externo: Dr. Manrrubio Muñoz Rodríguez



CONTENIDO

Lista de cuadros	vi
Lista de Figuras	vi
Lista de Abreviaturas	vii
Dedicatoria	ix
Agradecimientos	x
Datos Biográficos	xi
Resumen General	xiii
CAPITULO 1: Introducción	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Objetivos	4
1.4. Hipótesis.....	4
1.5. Estructura del documento	5
CAPÍTULO 2: AGRICULTURA 4.0: REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Tecnologías que soportan la Revolución industrial 4.0.....	11
2.2 Revoluciones agrícolas.....	22
2.3. Agricultura 4.0	25
2.4. Conclusiones.....	36
2.5. Bibliografía.....	37
CAPÍTULO 3: AGRICULTURE 4.0: IS MEXICO READY??	42
3.1 Introduction	43
3.2 Materials And Methods	44
3.3 Results And Discussion	46

3.4	Conclusions	57
3.5	References	57
CAPÍTULO 4: FACTORES QUE INCIDEN EN LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA DE REDUCCIÓN DE DOSIS DE NITRÓGENO: EL CASO DEL TRIGO EN EL VALLE DEL YAQUI		59
	Abstract	59
	Introduction	60
	Materials and methods	62
	Results and discussion	66
	Conclusions	76
	Acknowledgements	77
	References	77
CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES Y RUTA HACIA ADELANTE		81
	Recomendaciones para el desarrollo de un ecosistema sano e igualitario de tecnologías 4.0 en México	82
	Acciones transversales	90
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES		91
APÉNDICE 1: EXPOSICIÓN DE MOTIVOS Y LEY PARA LA CREACIÓN DEL “INSTITUTO PARA LA INCLUSIÓN TECNOLÓGICA Y EMPRESARIAL DEL CAMPO”		94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cronología de la evolución tecnológica en conectividad.....	19
Cuadro 2. Revoluciones industriales componentes, alcance e impacto en agricultura.....	25
Cuadro 3. Recomendaciones de acción para abatir el rezago tecnológico en el campo	83

ÍNDICE DE TABLAS DEL CAPÍTULO 3

Índice de Tablas

Table 1. Types of technology providers	47
Table 2. Characterization of technology types by agricultural chain and year of adoption	49
Table 3. Analysis of the adoption of new technologies.....	49

ÍNDICE DE TABLAS DEL CAPÍTULO 4

Índice de Tablas

Table 1. Socioeconomic characteristics	67
Table 2. Economic and productive characteristics	70
Table 3. Characteristics of prior knowledge of technology	71
Table 4. Parameter Estimates and Marginal Effects of the multiple variable Logit Model	72
Table 5. Profitability of wheat cultivation through traditional technology and Optimal Fertilization	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Bibliografía agricultura 4.0 por año de aparición	26
--	-----------

LISTA DE FIGURAS DEL CAPÍTULO 3

Figura 1: Bibliografía Agricultura 4.0 por año de aparición

Figura 2¹: Bibliographical references relevant to agricultural technology innovation

Figura 3²: Technology providers in Mexico according to Birner's classification

Figura 4³: Percentage of tangible and intangible technologies in Mexico

Figura 5⁴: Historical series of technology adoption in Mexico, 2007-2022

Figura 6⁵: Change factor of maize productivity in Sinaloa, Morelos, and Tlaxcala

Figura 7⁶: Isoquants for price of maize/return on productivity

Figura 8⁷: Isoquants for yield of maize/return on productivity

Figura 9⁸: Average work areas according to their coverage level

Figura 10: States according to their mobile coverage level “Map1”

Figura 11: Educational level in Mexico “Map 2”

Figura 12⁹: Average agricultural work area according to the owner's educational level

Figura 13¹⁰: Average agricultural work area according to use of ICT

Figura 14¹¹: Average work area according to PU's level of mechanization

Figura 15: Mechanization level in Mexico “Map 3”

¹ Aparece como “Figure 1” en el artículo académico capítulo 3

² Aparece como “Figure 2” en el artículo académico capítulo 3

³ Aparece como “Figure 3” en el artículo académico capítulo 3

⁴ Aparece como “Figure 4” en el artículo académico capítulo 3

⁵ Aparece como “Figure 5” en el artículo académico capítulo 3

⁶ Aparece como “Figure 6” en el artículo académico capítulo 3

⁷ Aparece como “Figure 7” en el artículo académico capítulo 3

⁸ Aparece como “Figure 8” en el artículo académico capítulo 3

⁹ Aparece como “Figure 9” en el artículo académico capítulo 3

¹⁰ Aparece como “Figure 10” en el artículo académico capítulo 3

¹¹ Aparece como “Figure 11” en el artículo académico capítulo 3

LISTA DE FIGURAS DEL CAPÍTULO 4

Figura 16: Index of technology adoption potential “Map 4”

Figura 17¹²: Farmers by gender

Figura 18¹³: Farmers by age

Figura 19¹⁴: Farmers schooling grade

Figura 20¹⁵: Farmers by land tenure

Figura 21¹⁶: Farmers by plot size

Figura 22¹⁷: Farmers with technical advisor during previous productive activities

Figura 23¹⁸: Farmers according to previous results

Figura 24¹⁹: Farmers who find technology useful

Figura 25²⁰: Farmers that the technology adapts to their needs

Figura 26²¹: Change vs previous cycle in fertilizer use and yield (tons per hectare)

¹² Aparece como “Figure 1” en el artículo académico capítulo 4

¹³ Aparece como “Figure 2” en el artículo académico capítulo 4

¹⁴ Aparece como “Figure 3” en el artículo académico capítulo 4

¹⁵ Aparece como “Figure 4” en el artículo académico capítulo 4

¹⁶ Aparece como “Figure 5” en el artículo académico capítulo 4

¹⁷ Aparece como “Figure 6” en el artículo académico capítulo 4

¹⁸ Aparece como “Figure 7” en el artículo académico capítulo 4

¹⁹ Aparece como “Figure 8” en el artículo académico capítulo 4

²⁰ Aparece como “Figure 9” en el artículo académico capítulo 4

²¹ Aparece como “Figure 10” en el artículo académico capítulo 4

LISTA DE ABREVIATURAS

Acrónimo	Significado
AGV	Vehículo Guiado Autónomo
AMR	Robot Autónomo Móvil
AOASS	Asociación de Organismos de Agricultores del Sur de Sonora
CDT	Centro de Desarrollo Tecnológico
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo
COP	Conferencia de las Partes
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
IA	Inteligencia Artificial
IAG	Inteligencia Artificial General
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones
INIFAP	Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria
IoT	Internet de las Cosas
IoMt	Internet de las Cosas Medicas
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
NIST	Instituto Nacional de Estándar y Tecnología
NLP	Procesamiento de Lenguaje Natural
NRC	Consejo Nacional de Investigación
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OMS	Organización mundial de la salud
PVDF	Fluorido de Polyvinylideno
SADER	Secretaria de Agricultura y desarrollo Rural

SAGARHPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos,
Pesca y Acuacultura

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos en primer lugar porque este trabajo es obra de su solidaridad y paciencia,

A mi Madre y hermana que son mi sangre y nos unirá por siempre.

En memoria de mi querido Padre que percibe en la ausencia y vive en mí.

A mi país, México, el cual merece progreso y ocupa generar toda oportunidad de prosperidad compartida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo a quien me he acercado por su rica comunidad y me ha permitido reconocer mis raíces e inspirado a trabajar por los hombres y mujeres que se esfuerzan en nuestro campo.

A FIRA, institución que se dedica al bien del campo y permite y promueve generosamente que se realice investigación en su seno.

A los integrantes de mi comité asesor, en especial el Dr. Ramon Valdivia por su guía y apoyo dentro del complejo mundo de una Universidad con 170 años de historia.

A mis compañeros de trabajo y coautores por su arduo trabajo para ampliar el conocimiento al que aspiramos por un país mejor.

DATOS BIOGRAFICOS

Nombre: Jesús Alan Elizondo Flores

Fecha de nacimiento: 17 de marzo de 1972

CURP: EIFJ720317HDFLLS04

Desarrollo académico

Licenciatura: Licenciado en Actuaría – Instituto Tecnológico Autónomo de México (1990-1994)

Maestría: Maestría en Economía y Finanzas – London School of Economics (1995-1997)

Desarrollo Profesional

Director General de FIRA, una institución financiera de desarrollo del gobierno mexicano administrada por el Banco Central que otorga crédito, garantías, asistencia técnica y subsidios a todos los participantes relevantes del sector agrícola mexicano.

Como director general de FIRA, ejecuta su estrategia financiera, gerencial y operativa y representa a FIRA con socios relevantes para consolidar un sector agrícola sostenible, productivo, eficiente e incluyente en México.

Anteriormente trabajó en el Banco Central siendo responsable del departamento de asuntos del sistema financiero haciendo supervisión, regulación y representación como miembro del directorio de seis bancos de desarrollo en el país.

De igual forma se desempeñó como vicepresidente Técnico en la Comisión Nacional Bancaria y de Valores y el Banco de Desarrollo de Financiamiento de la Vivienda (SHF). Cuenta con 30 años de experiencia laboral en el sector financiero.

RESUMEN GENERAL

AGRICULTURA 4.0 EN MÉXICO: ¿PRESAGIO DE PROGRESO COMPARTIDO?

El documento analiza las barreras de adopción de las tecnologías de Agricultura 4.0 en México y propone estrategias para superarlas, procurando una integración tecnológica equitativa en los diversos segmentos del sector agropecuario. La investigación incluye una revisión exhaustiva de la literatura sobre tecnologías de Agricultura 4.0, un análisis económico de su adopción y un estudio de caso enfocado en tecnologías de reducción de dosis de nitrógeno en el cultivo de trigo en el Valle del Yaqui. Se emplea un enfoque de métodos mixtos, combinando análisis de datos cuantitativos e información cualitativa. Los hallazgos indican disparidades significativas que resultan en barreras para la adopción de nuevas tecnologías entre los productores agrícolas en México impulsadas por factores como la infraestructura, la educación y el acceso a tecnologías de información y comunicación. En adición, se identifican otro tipo de barreras socioculturales y económico-productivas para la adopción. Sin embargo, se concluye que es posible elevar la tasa de adopción de las nuevas tecnologías tanto por el análisis de costo-beneficio que éstas revelan, como por la posibilidad de facilitar su accesibilidad a través de políticas como la exposición previa del productor a las mismas o el acompañamiento de técnicos especializados las cuales son un factor de igual o mayor peso que algunas de las barreras idiosincrásicas mencionadas anteriormente. El estudio concluye que, aunque las tecnologías de Agricultura 4.0 tienen un potencial sustancial para mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura mexicana, son esenciales las intervenciones de política pública y la colaboración entre el gobierno, el sector privado y la academia para abatir disparidades y cerrar la brecha tecnológica. La participación del sector público es crucial para garantizar que los beneficios de estas tecnologías sean accesibles para todos los productores, especialmente aquellos en regiones desatendidas.

Palabras clave: Agricultura 4.0, Agricultura digital, Adopción tecnológica, Política agrícola, Brecha digital, NDVI, Fertilización a tasa variable.

Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa de Doctorado en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Jesús Alan Elizondo Flores

Director de tesis: Dr. Ramon Valdivia Alcalá

ABSTRACT

AGRICULTURE 4.0 IN MEXICO: A HARBINGER OF SHARED PROGRESS?

The document analyzes adoption barriers of Agriculture 4.0 technologies in Mexico and proposes strategies to overcome them, aiming for equitable technological integration across various segments of the agricultural sector. The research includes a comprehensive literature review on Agriculture 4.0 technologies, an economic analysis of their adoption, and a case study focused on nitrogen dose reduction technologies in wheat farming in the Yaqui Valley. A mixed-methods approach is employed, combining quantitative data analysis and qualitative information. The findings indicate significant disparities that result in barriers to the adoption of new technologies among agricultural producers in Mexico, driven by factors such as infrastructure, education, and access to information and communication technologies. Additionally, other socio-cultural and economic-productive barriers to adoption are identified. However, it is found that it is possible to increase the adoption rate of new technologies both due to favorable cost-benefit analysis and because simple policies such as prior exposure of producers to these technologies or technical assistance by specialized personnel are factors of equal or greater weight for adoption than some of the idiosyncratic barriers. The study concludes that while Agriculture 4.0 technologies have substantial potential to improve productivity and sustainability in Mexican agriculture, targeted public policy interventions and collaboration between the government, private sector, and academia are essential to bridge the technological gap. Public sector involvement is crucial to ensure that the benefits of these technologies are accessible to all producers, particularly those in underserved regions.

Keywords: Agriculture 4.0, Digital agriculture, Technology adoption, Agricultural policy, Digital divide, NDVI, Variable rate fertilization.

Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa de Doctorado en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Jesús Alan Elizondo Flores

Director de tesis: Dr. Ramon Valdivia Alcalá

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes

Uno de los determinantes básicos y esenciales de los límites al crecimiento en el planeta, es la oferta de recursos naturales para proveer de alimentación a la población. Los límites que se manifiestan en este frente son directamente apreciables pues su consumo, crecimiento y uso depende en gran medida de la cantidad disponible de tierra arable en el planeta, la cual muestra signos de agotamiento.

La cantidad de tierra arable²² en el planeta es aproximadamente 38 por ciento de la superficie de tierra mundial. Para dimensionar la magnitud de este recurso con respecto al crecimiento de la población resulta que en 1961 se disponía de 0.45 hectáreas de tierra arable per cápita. Esta misma cantidad descendió a 0.21 hectáreas disponibles en 2016 y mantiene un ritmo de descenso positivo.

Sin embargo, de manera simultánea, se ha constatado que a pesar de esta disminución de disponibilidad de tierra arable per cápita las necesidades de alimentación de la población se mantienen en promedio satisfechas.

La explicación de este fenómeno proviene de tres elementos que han promovido un incremento de la producción de los cultivos (FAO, 2002): expansión de la superficie de labranza, aumento de la intensidad de los cultivos y mejoras de rendimiento.

FAO reporta que desde los años sesenta y hacia el año 2030, las mejoras de los rendimientos han representado y serán la principal fuente de incremento de la producción (78 por ciento entre 1961 y 1999 y 70 por ciento hacia el 2030), siendo las otras dos fuentes mencionadas la marginal diferencia.

²² <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/es/c/1279267/>

Sin embargo, a diferencia de periodos anteriores, la siguiente etapa de elevación de productividad agrícola deberá enfrentar retos sin precedentes:

- Menor disponibilidad histórica de tierras agrícolas en virtud de la expansión urbana y nivel de degradación de una proporción de las actuales,
- Un clima cambiante que se manifiesta en la forma de mayores episodios de sequía, inundaciones y olas de calor extremo,
- Restricciones en el uso de energía y fertilizantes como consecuencia de la mayor conciencia del impacto de las actividades agrícolas en el medio ambiente,
- Una demanda cambiante a productos de mayor intensidad en la producción como es la proteína animal

El papel preponderante que desempeña el incremento en la productividad en contrarrestar el consumo de este recurso natural limitado nos obliga a analizar las tendencias de cambio tecnológico contemporáneo para enfrentar el reto que supone alimentar a la humanidad.

Un asunto de particular interés dentro del análisis de las nuevas tecnologías que impulsarán la productividad agrícola, es si las herramientas estarán disponibles para todos los participantes de la producción, con lo cual se evitaría que el proceso de introducción de nuevas tecnologías profundice la ya existente división y contraste en oportunidades de desarrollo en el campo.

Es de destacar que el sector en el cual habrán de adoptarse las nuevas tecnologías se caracteriza por grandes diferencias. Más aun, es difícil apreciar en esta etapa de desarrollo las consecuencias sociales y económicas que se observarán ante su implantación.

En concreto, los beneficios que las nuevas tecnologías traerán a la productividad y mayor disponibilidad de alimentos a escala mundial, son difícilmente cuestionables, pero resulta aún incierto y por ende de interés, analizar y anticipar

cuál será el impacto de estas en un país como México cuyo sector primario muestra un perfil e idiosincrasia distinto al de otros países.

1.2. Planteamiento del problema

Las anteriores revoluciones industriales y agrícolas han demostrado ser movimientos que trajeron mayores condiciones de desarrollo para la humanidad y, simultáneamente, conllevaron consigo procesos profundos de transformación de la sociedad.

La adopción de los grandes cambios tecnológicos que caracterizan a las revoluciones industriales suele ser desigual, fenómeno que se exagera en el campo, lugar en el cual incluso aún no se han extendido los beneficios de anteriores revoluciones tecnológicas, habiendo actualmente un aprovechamiento dispar de las tecnologías disponibles.

Esto conlleva a formular las siguientes preguntas cuya resolución, en su conjunto, define la problemática a abordar en este documento

- ¿Tienen las nuevas tecnologías asociadas al término agricultura 4.0 el potencial para elevar la productividad del campo ante los retos que supone el entorno que se presenta en la primera mitad del siglo 21?
- ¿Serán los mecanismos de mercado suficientes para que todos, o al menos, la mayoría de los integrantes del sector productor agrícola logren el acceso total o parcial a las nuevas tecnologías denominadas “Agricultura 4.0”?
- ¿En caso de que no sea así, existe un caso de interés público para que así suceda? y en su caso ¿de qué forma debe intervenir el Estado para igualar las condiciones de acceso para su adopción y consecuentemente las oportunidades para la sociedad rural?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general:

Evaluar la tendencia de adopción de las nuevas tecnologías denominadas “Agricultura 4.0” en el contexto del campo mexicano, así como las potenciales barreras para su adopción generalizada y, en su caso, proponer mecanismos de política pública que faciliten a los productores en general, con énfasis en los de mayor rezago, maximizar el beneficio del uso de estas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis económico y de mercado de las nuevas tecnologías denominadas agricultura 4.0 en el contexto del campo mexicano.
- Experimentar el uso de una herramienta tecnológica de última generación para la reducción de dosis de nitrógeno y evaluar la propensión de los productores a la adopción de la misma.
- Delinear los elementos que pueden conformar un plan de política pública que facilite el establecimiento y uso generalizado en México de nuevas tecnologías para beneficio del campo.

1.4. Hipótesis

- La agricultura 4.0 es un cuerpo de tecnologías que ha desarrollado la suficiente oferta de servicios para estimular una oferta suficiente y variada en México, sin embargo, la correspondiente demanda aún no se encuentra lista para asir la oportunidad.
- La tasa de adopción de las tecnologías representativas de la agricultura 4.0 es baja en México y dispar entre productores. Existen barreras asociadas a la idiosincrasia económica y social del productor, sin embargo, existen estrategias para reducir tales barreras a la mano de

los agentes económicos y gubernamentales interesados en la difusión de estas tecnologías.

- Es requerida la conjunción de esfuerzos entre la academia, el sector privado y el Estado Mexicano para lograr que los beneficios de esta tecnología se extiendan entre los productores con mayor rezago.

1.5. Estructura del documento

El documento se estructura en cinco capítulos principales. El Capítulo 1 proporciona los antecedentes necesarios para entender la relevancia del estudio, planteando el problema de la adopción desigual de tecnologías agrícolas y definiendo los objetivos y las hipótesis de la investigación. Se destaca la importancia de elevar la productividad agrícola mediante nuevas tecnologías y se cuestiona si estas serán accesibles para todos los productores.

El Capítulo 2 abocado a la revisión de literatura ofrece un análisis exhaustivo de las tecnologías que conforman la cuarta revolución industrial y su aplicación en la agricultura. Se discuten conceptos como la agricultura de precisión, la agricultura digital y las tecnologías de la información, así como su potencial disruptivo y beneficios en la productividad agrícola.

En el Capítulo 3 con título “Agricultura 4.0: ¿Se encuentra listo México?” corresponde a un artículo publicado en la revista Agro Productividad (doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2495) en el cual se analiza la situación actual de México respecto a la adopción de estas tecnologías. Se presentan estudios y datos que evalúan la preparación del país, identificando las principales barreras como la infraestructura tecnológica, el nivel educativo de los productores y el acceso a tecnologías de información y comunicación.

El Capítulo 4 representa una aplicación en campo del uso de nuevas tecnologías y se denomina “Factores que inciden en la adopción de nuevas tecnologías de reducción de dosis de nitrógeno: el caso del trigo en el Valle del Yaqui”. Este

manuscrito fue enviado a la revista *Techonology in Society* para publicación y se centra en un estudio de caso específico. Aquí se examina la disposición de los productores de trigo en el Valle del Yaqui para adoptar tecnologías de reducción de dosis de nitrógeno, ofreciendo evidencia sobre los factores que influyen en la adopción tecnológica en el contexto agrícola mexicano.

Finalmente, el capítulo 5 y 6 formulan recomendaciones y una ruta hacia adelante en la materia concluyéndose que, aunque las tecnologías de Agricultura 4.0 tienen un potencial sustancial para mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura mexicana, son esenciales las intervenciones de política pública para abatir disparidades y cerrar la brecha tecnológica que se ha ensanchado en el campo con el paso de las diversas revoluciones tecnológicas. La participación del sector público tiene el potencial para garantizar que los beneficios de estas tecnologías sean accesibles para todos los productores, especialmente aquellos en regiones desatendidas. Las recomendaciones formuladas para estimular esta expansión de tecnologías se ordenan en estímulo a la demanda, ordenamiento de la oferta y acciones transversales. Todas ellas tienen como propósito establecer mejores condiciones al ecosistema tecnológico para que florezca el mercado de tecnologías de agricultura 4.0 y que este opere de forma segura, eficiente y con especial respeto a los derechos de los participantes. Se resalta la necesidad de elevar el objetivo de inclusión tecnológica del campo en la agenda pública, en colaboración estrecha con el sector académico y el sector privado con el fin de lograr una adopción más equitativa y eficaz de la Agricultura 4.0 en el campo mexicano.

CAPÍTULO 2: AGRICULTURA 4.0: REVISIÓN DE LITERATURA

En 1968, Aurelio Peccei y Alexander King proponían reunir a un grupo de investigadores de alto prestigio por primera vez en Roma. Esta iniciativa, después denominada el Club de Roma²³, puso como objetivo avanzar en atender el “predicamento de la humanidad”.

Tal predicamento se estableció como la situación en la cual el hombre, con todo su conocimiento acumulado y avance tecnológico, lograba percibir la problemática que aquejaba a la humanidad, pero no lograba valorar su significancia como tampoco descifrar la interrelación de sus componentes y, como tal, articular una respuesta efectiva para atenderla.

El alcance de la iniciativa destaca por la amplitud de la problemática identificada resultante de la observación de “pobreza en medio de la abundancia, degradación del medio ambiente, pérdida de fe en las instituciones, alienación de la juventud e inflación”.

Como parte fundamental de esta iniciativa (Meadows, Meadows, Randers, Behrens, Club of Rome, 1972) se propuso modelar la interacción de cinco subsistemas del sistema económico global que de manera conjunta podrían establecer límites al crecimiento en el planeta²⁴. Los resultados de esta iniciativa levantaron un alto grado de polémica por sus ensombrecedoras conclusiones acerca de los límites del crecimiento en el planeta al ilustrar los procesos de exceso que pueden alcanzarse cuando se aproximan éstos, sugiriendo un escenario de colapso para la humanidad en el siglo veintiuno de no corregir el curso de acción colectivo.

Este estudio, acerca de los límites del crecimiento en el planeta, no es uno sin precedentes históricos, encontrando un origen común con las ideas planteadas

²³ Clubofrome.org/history

²⁴ Se consideran: población, producción agrícola, agotamiento de recursos no renovables, producción industrial y contaminación

dos siglos atrás por Thomas Malthus (Malthus, 1798) ante los límites que nuestro entorno impone al crecimiento poblacional exponencial.

La esencia de los problemas planteados en un inicio por Malthus y retomados posteriormente por este grupo, a pesar de haber sido debatidos de manera persistente, mantienen vigencia en el siglo 21.

Su principal argumento reside en el impacto que genera un crecimiento de naturaleza exponencial cuya rápida escalabilidad resulta poco intuitiva para el ser humano acostumbrado a un entendimiento lineal de su entorno.

Hoy en día no se insiste en la validez de los métodos o el rigor metodológico desplegado por dichos investigadores para abordar la, así llamada, *problématique*, en virtud de que tales escenarios no pretendían ser un pronóstico si no “indicadores de las tendencias comportamentales del sistema”.

La respuesta del ser humano ante este llamado a la acción inició una tendencia global encaminada a enfrentar y mitigar los efectos de la expansión humana en el planeta. Dentro de ésta destaca la corriente de decrecimiento (Hickel, 2021) también conocida como *Décroissance* o *degrowth* la cual propone “una reducción en el uso de la energía y recursos orientada a llevar a la economía de vuelta a un balance con el mundo vivo de una forma en que se reduzca la desigualdad y acreciente el bienestar del ser humano”²⁵

Por otro lado, la corriente proponente del desarrollo sostenible (World Commission on Environment and Development, 1987) propone “asegurar que el ser humano satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para atender sus propias necesidades”.

²⁵ La iniciativa encontró un buen número de detractores por el hecho de que parecía promover, al menos en nombre, la antítesis de los modelos económicos que hasta la fecha han generado condiciones de empleo y satisfacción a la sociedad.

Promovida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha destacado por la fijación de objetivos de desarrollo sostenible²⁶ globales dentro del marco de la denominada agenda 2030 (ONU, 2015).

Persistencia de la problématique

A pesar del trabajo y acuerdos internacionales resultantes de esta contratendencia, las proyecciones de los “límites al crecimiento” se han mantenido conforme al escenario estándar publicado en el reporte original tal como se documentó treinta y cuarenta años después de su publicación (Turner, 2008 y Turner, 2014).

En la misma dirección, António Guterres²⁷ Secretario General de la ONU apuntó en el marco del cierre de la conferencia de las partes (COP26) que “desafortunadamente la voluntad política colectiva no fue suficiente para superar profundas contradicciones... aún nos encontramos en la puerta de una catástrofe climática”.

Finalmente, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), principal grupo de trabajo de la ONU para evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático²⁸, por la vía del trabajo de su grupo técnico encargado de atraer los avances más recientes en materia de ciencia climática (IPCC, 2021), reporta como principal conclusión, que es inequívoca la influencia del ser humano en el calentamiento de la atmósfera, océanos y tierra así como que la temperatura global continuará incrementando al menos hasta mediados del siglo 21 en todos los escenarios considerados.

²⁶ Esta corriente “reconoce que el fin de la pobreza debe ir de la mano de estrategias destinadas a mejorar la salud y la educación, reducir la desigualdad y estimular el crecimiento económico todo ello sin dejar de abordar el cambio climático ni de trabajar para preservar nuestros océanos y bosques”.

²⁷ Secretary-General's statement on the conclusion of the UN Climate Change Conference COP26

²⁸ <https://www.ipcc.ch/>

El avance tecnológico como tendencia paralela

De manera paralela se desarrolla un fenómeno que resulta igualmente destacable por su impacto multiplicador de las capacidades productivas del hombre. Se trata de la evolución tecnológica en prácticamente todos los aspectos relacionados con la actividad económica y social del ser humano.

El uso de este recurso ha permitido contrarrestar muchas de las críticas al *impasse* detrás de los límites al crecimiento y ha generado optimismo acerca del futuro de la humanidad.

Un termómetro que presenta una característica única para explicar su naturaleza y ritmo de evolución es la denominada “Ley de Moore” (Greenstein, 2015) la cual propone que “el número de transistores que pueden ubicarse en un circuito integrado se duplica cada dos años” misma que se postuló en 1965 y durante el primer cuarto del siglo veintiuno se mantiene vigente²⁹.

La ley de Moore ha guiado el avance tecnológico en diversos campos de conocimiento provocando una trayectoria exponencial en la elevación de capacidades del ser humano.

Revolución industrial 4.0

Las circunstancias particulares que caracterizan al siglo veintiuno, tanto en materia de consumo de recursos ambientales como en materia de avance tecnológico plantean la necesidad de reconsiderar la pregunta en un contexto mucho más rico y complejo.

En efecto, las revoluciones industriales anteriores al siglo veintiuno trajeron al ser humano incuestionable progreso por el uso de elementos como i) hierro y carbón,

²⁹ Existe un número cada vez creciente de voces que señalan que la misma alcanza los límites físicos, en virtud de que el tamaño de los transistores encuentra una barrera natural establecida por la física al haber alcanzado el diminuto tamaño de 2 nanómetros (tamaño de una hebra de ADN).

ii) petróleo y electricidad, iii) electrónica y tecnologías de la información (Min Xu et al., 2018). Sin embargo, los avances tecnológicos que se presentan en la actualidad conjugan factores de índole exponencial y han venido a ser llamados la cuarta revolución industrial (Schwab, 2017) en alusión a la magnitud de su alcance y consecuencias.

Las tecnologías señaladas (Chung, 2021)) como pilares de la actual revolución son entre otras, Internet de las cosas (IoT), cómputo en la nube, manejo de datos en gran volumen (big data), 5G, inteligencia artificial, impresión 3D, robótica y realidad aumentada y virtual.

Esta gran disponibilidad de recursos tecnológicos, a diferencia de otros momentos históricos, convergen en un mismo tiempo y en un número amplio de campos de conocimiento. El resultado de esta convergencia es un incremento en capacidades y alcance de consecuencias que superan la suma de los avances alcanzados de manera independiente³⁰ (Bainbridge, et al. 2003).

A continuación, se describen los componentes de estas tecnologías lo que permitirá dar contexto al cambio tecnológico al cual se enfrenta el campo mexicano.

2.1 Tecnologías que soportan la revolución industrial 4.0

El cuerpo de literatura relacionado con el concepto de agricultura 4.0 es reciente y reconoce en su mayoría que se trata de un nuevo paradigma que por su magnitud y relevancia es equiparable a anteriores cambios tecnológicos que dieron vida a las denominadas revoluciones de producción tanto agrícolas como industriales.

El término “Revolución industrial” fue popularizado por el historiador económico Arnold Toynbee (1852–83) y se asoció en primer lugar al desarrollo tecnológico

³⁰ Particular atención merece el concepto de convergencia el cual tiene implícito que el potencial y alcance de un campo de conocimiento puede ser elevado al mismo tiempo por el crecimiento en otro campo de conocimiento anteriormente no asociado al primero.

sucedido en Inglaterra entre 1760 y 1840. El concepto hoy en día es más comúnmente interpretado “*como un proceso de transformación económica que se expande gradualmente a través de geografías y ámbitos de aplicación*” (Britannica, 2021). Resalta el hecho que su impacto no solo es económico si no que comprende aspectos tanto sociales como culturales.

IBM³¹, entre otras fuentes asociadas al tema, atribuye a la primera revolución industrial la introducción el uso de energía hidráulica (vapor) en lugar de energía puramente humana y animal. Esto además del uso de otros materiales como el hierro y acero facilitó la producción en masa en sustitución de una producción manual de tipo artesanal.

Entre los beneficios de este importante cambio tecnológico se encuentra mejoras en el estándar de vida promedio de la población resultado de la detonación de un proceso de expansión económica e industrial sustentado en la elevación de la productividad del trabajo.

Las sucesivas revoluciones industriales muestran que el progreso tecnológico es un fenómeno continuo y que se apalanca por los esfuerzos de anteriores innovaciones tecnológicas. En el caso de la “cuarta revolución industrial” esto se ilustra claramente al emerger de los avances de la tercera revolución industrial como son, por ejemplo, las tecnologías digitales, los semiconductores, la computación y el internet.

Sobre esta base, Schwab (2021) adiciona que es resultado de la “convergencia de innovaciones digitales, biológicas y físicas” lo que en buena medida la dota de un alcance superior a la anterior. Existe consenso en que las tecnologías más relevantes que la componen son (Chung, 2021):

- i) Internet de las cosas,
- ii) Cómputo en la nube,
- iii) Manejo de datos en gran volumen (BD por sus siglas en inglés),

³¹ <https://www.ibm.com/es-es/topics/industry-4-0>

- iv) Conectividad 5G,
- v) Inteligencia artificial,
- vi) Robótica
- vii) Impresión 3D,
- viii) Realidad virtual y aumentada.

¿En qué consiste el poder disruptivo de estas tecnologías y por qué se asocian a Agricultura 4.0? Se propone revisar primero la literatura acerca de los componentes tecnológicos de la revolución industrial 4.0 para posteriormente elaborar sobre el concepto de Agricultura 4.0.

2.1.1. Internet de las cosas.

Según IBM, “el Internet de las cosas (IoT) se refiere a una red de dispositivos físicos, vehículos y otros objetos físicos que están integrados con sensores, software y conectividad de red integrados, lo que les permite recopilar y compartir datos” (IBM ³², N.D.). Esto permite entre otras cosas responder, ya sea remotamente o no, ante parámetros preestablecidos de operación, reconocer patrones de comportamiento, analizarlos y en consecuencia dar mayor efectividad, eficiencia o mayor calidad a procesos existentes.

Su valor reside en que el tratamiento efectivo de la información que ofrecen los objetos permite generar elementos de respuesta oportuna y facilitar o mejorar tareas de utilidad para el ser humano. Su campo de aplicación es tan amplio como los objetos que puedan ser dotados de esta conectividad.

Ejemplos de aplicación

Un ámbito de aplicación que ha generado cambios relevantes en capacidad de diagnóstico y oportunidad de respuesta es el médico (Jain, Deeksha et al. 2012). El surgimiento de aparatos médicos conectados entre sí y a la red ha llevado a

³² <https://www.ibm.com/mx-es/topics/internet-of-things#:~:text=IBM&text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20IoT%3F,permite%20recopilar%20y%20compartir%20datos.>

desarrollar el término IoMT (internet de las cosas médicas por sus siglas en inglés). La Organización Mundial de la Salud (OMS) define telemedicina como “Aportar servicios de salud, donde la distancia es un factor crítico...”. De entre los instrumentos que dan vida a este concepto se identifican monitores corporales de diverso tipo en particular, por ejemplo, los asociados a pacientes que sufren de diabetes los cuales permiten que sus médicos monitoreen sus niveles de azúcar en sangre a través de un dispositivo inteligente. Este se conoce como monitor de glucosa continuo el cual permite informar en tiempo real los niveles de glucosa y en caso de exceder los umbrales permitidos suministrar insulina a la persona si detectan una falta notable³³.

Otros ámbitos de aplicación³⁴ se encuentran en la industria de seguridad, energía y, como se abordará más adelante, el sector agropecuario.

2.1.2 Computación en la nube.

IBM³⁵ define el cómputo en la nube como “el suministro de recursos informáticos a petición, desde aplicaciones hasta centros de datos, a través de Internet y con un modelo de pago según uso”. Las características esenciales de este servicio según el National Institute of Standard and Technology³⁶ (NIST por sus siglas en inglés) son las siguientes cinco.

Auto servicio bajo demanda: el consumidor puede unilateralmente obtener capacidades de cómputo cuando lo requiera sin la intervención de algún otro humano.

³³ Para una lista pormenorizada de casos de estudio se recomienda el análisis de <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/life-sciences-and-healthcare/articles/medtech-internet-of-medical-things.html#>

³⁴ <https://www.gsma.com/iot/smart-cities/case-studies/>

³⁵ <https://www.ibm.com/es-es/cloud/learn/cloud-computing-gbl>

³⁶ “NIST Cloud Computing Program - NCCP,” National Institute of Standards & Technology, accessed October 24, 2017, <https://www.nist.gov/programs-projects/cloud-computing>

Acceso vía red: las capacidades del cómputo en la nube se adquieren por la vía del internet a través de mecanismos estándar de acceso tales como teléfonos celulares, tabletas, laptops o computadoras personales.

Agregación de recursos: el proveedor agrega recursos informáticos para dar servicio a múltiples consumidores y los asigna de manera dinámica de acuerdo con la demanda del consumidor. Ejemplos de recursos informáticos disponibles son capacidad de almacenamiento, procesamiento o memoria.

Rápida elasticidad: las capacidades pueden ser provistas y desplegadas de manera “elástica” para atender de manera apropiada la demanda del consumidor.

Servicio medido: el uso de los sistemas de cómputo en la nube puede ser monitoreado, controlado y reportado dotando de transparencia al modelo.

Como se puede apreciar, este servicio permite acceder a usuarios de diversa índole de poder general de cómputo que difícilmente sería posible acceder físicamente por separado y le permite apalancar sus posibilidades de desarrollo.

Ejemplos de aplicación

El modelo de cómputo en la nube dota de mayor flexibilidad al usuario, así como mayor eficiencia tanto en costo como en capacidad para atender sus necesidades. Uno de los más importantes usuarios, por ejemplo, es Netflix que como resultado de su migración a la nube puede reproducir mayor cantidad de contenido, subir más clientes a su plataforma y manejar de manera variable la alta demanda que puede sobrevenir en episodios especiales. Por otro lado, otros proveedores de servicios de software pueden hacer su oferta mediante el uso de la nube para almacenar datos y ofrecer sus servicios (i.e. Dropbox). Asimismo, la plataforma ZOOM puede accederse vía el internet sin necesidad de descargar aplicaciones en la computadora personal (PC) y almacena gran cantidad de información bajo este modelo. Este servicio es similar a otros casos de éxito como GMAIL u otras aplicaciones de correo electrónico o de almacenamiento de archivos. Como se constatará más adelante la ubicuidad del servicio y las

capacidades descentralizadas de almacenamiento y procesamiento de datos son de gran utilidad para el uso de nuevas tecnologías en la agricultura.

2.1.3 Grandes datos (Big Data)

Los grandes datos fueron definidos por Gartner, inc.³⁷ como “Activos de información de alto volumen, alta velocidad y variedad que requieren formas innovadoras y costo-efectivas de procesamiento de información que faciliten una mejora en la visión estratégica y toma decisiones”

Como se puede apreciar, la definición contiene varios conceptos dentro de los cuales destaca el *Volumen*. Actualmente no existe un consenso con respecto al umbral de tamaño comúnmente aceptado para definir Grandes Datos. Por ejemplo, Diebold, (2012) señala que tradicionalmente hace 50 años una base de datos estándar contendría “90 observaciones en cada una de 10 variables”. Sin embargo, una respuesta más vigente llevaría a definirla en unidades de tamaño de archivo en vez de número de observaciones proponiendo este mismo autor un tamaño de 200 GB como referencia de tamaño mínimo, sin embargo, recomienda ser cautos en definir este tamaño ya que en el futuro esta base de datos muy posiblemente sería de tamaño manejable o en términos relativos de menor escala.

Con respecto al concepto de *Variedad* se refiere al grado de estructuración de los datos donde por un lado la información estándar organizada en texto o formato de hoja de cálculo sería considerada información estructurada, sin embargo, Cukier, (2010) reporta que del volumen total existente en este formato tan solo representa un 5%, mientras que otros datos provenientes de imágenes, audio o video representan fuentes no estructuradas y son parte del cuerpo de información que se acumula con mayor velocidad y volumen cotidianamente.

Por último, en lo que respecta a *Velocidad* según Amir (2015) representa la tasa a la cual los datos se generan y deben ser analizados. La gran cantidad de

³⁷ <http://www.gartner.com/it-glossary/big-data/>.

aparatos que producen información como los descritos en la sección 2.1.1 han elevado sustancialmente la velocidad de crecimiento de las bases de datos estableciendo un reto para el procesamiento de la información derivada de estos mecanismos de generación de datos.

Ejemplos de aplicación

Las aplicaciones de grandes datos son muy variadas Cukier (2010) identifica el uso de los grandes datos por parte de Walmart quien genera más de un millón de transacciones cada hora con las cuales puede analizar patrones de consumo y perfiles de clientes para ofrecer un seguimiento más personalizado. Facebook, cuenta con 40 mil millones de fotos, mientras que Google utiliza los “clicks” que dan los usuarios en su buscador para documentar sus intereses y responder de inmediato con recomendaciones personalizadas. Destaca el hecho de que al poder agregar información individual de grandes datos en tendencias agregadas se ha dado la posibilidad de estimar patrones macro como son crecimiento económico, epidemias o tendencias políticas entre otros fenómenos de interés público o social.

Cabe mencionar que los grandes datos no son útiles por sí mismo si no que es necesario el procesamiento a gran escala para discernir patrones y convertir la gran masa de información en fenómenos de entendimiento que puedan generar respuestas estructuradas de alto valor. Hoy en día, como se apreciará más adelante, los diversos elementos de tecnología disponibles como drones, satélites y sensores a nivel parcela, permiten generar bases de datos de alto volumen, rápidas y variadas.

2.1.4 Inteligencia artificial (AI)

La inteligencia artificial es un término que describe la potencial capacidad de las máquinas para realizar actividades que muestren inteligencia. La oficina de la Casa Blanca mostró interés en el desarrollo y futuro de esta disciplina (White House, 2016) y definió la misma como “un sistema computarizado que exhibe

comportamiento que es comúnmente conceptualizado como requirente de inteligencia”.

La IA ha mostrado una gradual evolución y progreso al paso de los años, pero no fue sino hasta finales de los años noventa, de la mano de avances en otros frentes tecnológicos, cuando se fue revelando su alcance en una diversidad de campos de conocimiento.

El contenido del término en la actualidad se subdivide en “Inteligencia Artificial Estrecha” (o débil) y la “Inteligencia Artificial General” (o robusta) (IAG). La primera se enfoca en tareas específicas y ha permitido el desarrollo de aplicaciones como SIRI, Alexa (Amazon), Chat GPT y Watson (IBM), así como del desarrollo de vehículos autónomos.

Por el otro lado la IAG concibe máquinas que ejercen una inteligencia comparable con la de los humanos. Las aplicaciones existentes actualmente no incluyen un desarrollo que ilustre este segundo tipo de IA.

Ejemplos de aplicación

IBM³⁸ ilustra la IA con los siguientes ejemplos:

- **Reconocimiento de voz:** también denominado reconocimiento automático de voz, el cual es una funcionalidad que utiliza el procesamiento del lenguaje natural (NLP) para procesar el habla humana en un formato escrito.
- **Servicio al cliente:** los chatbots responden a preguntas frecuentes de diferentes temas o proporcionan asesoramiento personalizado y sugieren cursos de acción convenientes para los usuarios.

³⁸ <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence#toc-types-of-a-q56lfpGa>

- **Motores de recomendaciones:** utilizando datos del comportamiento pasado de los consumidores descubren tendencias de datos para desarrollar estrategias de venta cruzada más eficaces.
- **Comercio de acciones (financieras) automatizado:** permite optimizar carteras de acciones, ya que las plataformas de comercio de alta frecuencia impulsadas por IA hacen miles de operaciones por día sin intervención humana.

2.1.5 Conectividad 5G

La tecnología de conectividad 5G es uno de los avances más recientes y que permitirá apalancar el desarrollo de otras tecnologías como las descritas anteriormente. Los conceptos clave que diferencian el 5G de 4G tienen que ver con ancho de banda, latencia, velocidad.

- **Ancho de banda.** Se asocia a la tasa máxima de transferencia de datos de una red o conexión a internet. Una medida del ancho de banda es la cantidad de datos que se puede enviar a una conexión específica en un tiempo determinado.
- **Latencia** La latencia es una medida de tiempo que lleva a una señal de información entre un nodo emisor de la información y otro receptor de esta.
- **Velocidad** Tiempo que toma bajar los datos del web al dispositivo que lo demanda.

Le mejora que genera el 5G sobre generaciones anteriores se resume en el siguiente Cuadro (Fermanis, 2020).

Cuadro 1. Cronología de la evolución tecnológica en conectividad

	3G	4G	5G
Año de despliegue	2004-5	2006-10	2020

Ancho de banda	2mbps	200mbps	>1gbps
Latencia	100-500 milisegundos	20-30 milisegundos	<10 milisegundos
Velocidad promedio	144kbps	25mbps	200-400mbps

Fuente: Fermanis, (2020)

Ejemplos de aplicación

Las aplicaciones posibles de la red 5G suelen ser asociadas a mayores capacidades de descarga de diversos contenidos lo que logra mejorar la experiencia de los usuarios notablemente; sin embargo, su uso va más allá de la industria del entretenimiento si se toma en consideración que una de las características importantes es que permite conectar mayor número de dispositivos por kilómetro cuadrado. Esto permitirá contar con objetos intercomunicados ampliando la posibilidad de mayor capacidad de interacción de objetos. Un ejemplo comúnmente citado es la “vialidad inteligente” los vehículos podrán conectarse con sensores instalados en las calles midiendo, por ejemplo, el tránsito en tiempo real, semáforos y distancia con respecto a otros vehículos. Esta interconectividad permitirá mayor seguridad en la conducción, así como mayor eficiencia en la movilidad de las ciudades. Sin embargo, estas capacidades podrán ser replicadas en la industria, los cuidados personales y como se analizará más adelante la agricultura.

Como último elemento de tecnología analizaremos la robótica pues muestra diversas aplicaciones que son relevantes para la agricultura además de avances notables con respecto a anteriores revoluciones industriales.

2.1.6 Robótica

De entre las tecnologías que soportan con mayor énfasis la cuarta revolución industrial se encuentra la robótica siendo esta la que más se asocia a los avances de anteriores revoluciones industriales. Su notable progreso radica en la

interacción de este tipo de tecnología con los avances en otras áreas de la ciencia y conocimiento propias de la cuarta revolución industrial. Una definición del término *Robot* según el diccionario Oxford Reference (2024) es una “Máquina que se asemeja a un humano y es capaz de replicar ciertos movimientos humanos y funciona automáticamente”.

No sorprende que se considere por parte de la revolución industrial 4.0 ya que ha sido una pieza calve para elevar la productividad de la mano de obra humana y a la vez dotarla de mejores condiciones de seguridad en el trabajo. Con la evolución de otros ámbitos tecnológicos complementarios al Robot se ha logrado apalancar en sus capacidades y versatilidad. Según Intel³⁹ existen generalmente aceptados seis tipos de robots:

Robots móviles autónomos (AMR por sus siglas en inglés) o **guiados** (AGV), donde los primeros “se mueven alrededor del mundo y toman decisiones prácticamente en tiempo real mientras avanzan”. Su capacidad se incrementa en conjunción con los avances en otras tecnologías como aquellas relacionadas con sensores, o mecanismos de visión automática. El segundo tipo (AGV) se movilizan por caminos preestablecidos y comúnmente confinados.

Robots articulados, los cuales emulan la forma y alcance de un brazo humano, aunque pueden exceder sus ejes de rotación lo que amplía su alcance.

Humanoides, aquellos que toman la forma de ser humano pero que esencialmente ejecutan acciones que típicamente son desempeñadas por el ser humano.

Cobots, son aquellos que son diseñados para colaborar con el ser humano y permiten ya sea reducir los riesgos para este último o ampliar sus capacidades.

Robots híbridos, los cuales pueden tomar cualquiera de las formas anteriores y como tal elevar las capacidades de este.

³⁹ <https://www.intel.com/content/www/us/en/robotics/types-and-applications.html>

Un campo particular en el cual los robots han tenido un avance significativo es el que tiene que ver con la percepción remota. La percepción remota⁴⁰ es “la capacidad de adquirir información de un objeto o fenómeno sin hacer contacto físico con el objeto”. Un caso particular de Robot es el dron o satélite que, combinados con el uso de cámaras, cámaras espectrales, hiper espectrales o térmicas, así como sensores químicos, biológicos o meteorológicos ofrecen capacidades de lectura y detección de fenómenos muy por arriba de las que un ser humano puede desempeñar. Como se verá más adelante, este tipo de robots en conjunción con avances recientes en materia de sensores y cámaras tienen una aplicación amplia en el campo de la agricultura.

En resumen, las tecnologías que componen la cuarta revolución industrial, como se ha podido apreciar, tienen impacto relevante en diversas industrias. Se espera que la conjunción de estas tecnologías tenga un impacto profundo en muchos aspectos de la sociedad y sobre todo contribuyan a mitigar el uso excesivo de los recursos naturales disponibles dando sostenibilidad de largo plazo a la población humana en el planeta tal como se enfatizó en el primer capítulo.

2.2 Revoluciones agrícolas

Son varias las etapas productivas de la historia de la agricultura que han permitido mantener el paso con el crecimiento poblacional a pesar de contar con una cantidad limitada de tierra arable en el planeta.

Se identifican al menos tres etapas de progreso de la capacidad de producción de alimentos del campo (Bairoch, 1989) mientras que se abre paso gradualmente una cuarta etapa.

“Agricultura 1.0”, se asocia al periodo previo a 1850 el cual se caracterizó por un estado de producción cuyos rendimientos fueron mayormente constantes y cuyas alteraciones significativas provenían ya sea de cambios en el entorno, tales como

⁴⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing

el clima o fenómenos poblacionales o afectaciones a la salud y estabilidad del entorno del ser humano como pandemias o guerras.

Este periodo utilizaba labranza tradicional que recurría mayormente al esfuerzo de humanos y animales. Es a mediados del siglo 17 donde fueron introducidas gradualmente ligeras innovaciones tales como (Bairoch, 1989) i) la rotación de cultivos, ii) perfeccionamiento de la maquinaria para hacer un mayor uso del hierro y sembradoras, iii) mejor selección de semillas y, iv) aumento en el uso de caballos en sustitución de los bueyes. En su conjunto estas innovaciones elevaron las tasas de productividad de la tierra sentando las bases para el siguiente periodo de progreso en la producción.

“Agricultura 2.0”, sitúa su inicio para una mayoría de países europeos a finales del siglo diecinueve. Este periodo se caracteriza por un uso intensivo de maquinaria agrícola, en particular la introducción de máquinas recolectoras que permitieron reducir el tiempo de cosecha en una proporción de 3 a 1 (Bairoch, 1989). Asimismo, ocurre el uso de los primeros fertilizantes artificiales como el amoniaco. Los rendimientos de cosecha se incrementan anualmente 0.6% durante este periodo.

“Agricultura 3.0”, marca su inicio a mediados del siglo veinte. Las tasas de incremento del rendimiento en este periodo se elevan a 2.2% anual. Los principales elementos detonadores del crecimiento son (Bairoch, 1989): i) manejo y desarrollo de semillas de alto rendimiento, ii) un mayor uso de fertilizantes artificiales y, iii) la reintroducción del barbecho. El impacto sobre el medio ambiente de estas prácticas fue significativo, sin embargo durante este periodo, se privilegiaron los efectos en el abatimiento del hambre mundial.

Muchos de los cambios que dieron pie al paso de un periodo al siguiente fueron graduales y encontraron en algún momento un hito que permitió demarcar cada periodo (e.g. uso de maquinaria, introducción de semillas de alto rendimiento, etc.) y dar paso al siguiente.

Con el fin de resumir los conceptos e impactos de anteriores revoluciones industriales, en el Cuadro 2 se reproducen las principales características que componen las revoluciones industriales (Prisecaru, P., 2016) y se expanden con respecto a su impacto en la evolución de la agricultura.

Cuadro 2. Revoluciones industriales componentes, alcance e impacto en agricultura

Periodo	Periodo de Transición	Fuente de energía	Principal logro tecnológico	Industrias con mayor desarrollo	Impacto en agricultura
I.1760-1900	1860-1900	Carbón	Máquina de vapor	Textil, Acero,	Mecanización de labores, (cosechadora)
II.1900-1960	1940-1960	Petróleo y electricidad	Motor de combustión interna	Metalurgia, Automotriz, Maquinaria de construcción	Perfeccionamiento de maquinaria, inicio del uso de fertilizantes químicos
III.1960-2000	1980-2000	Energía nuclear y gas natural	Computadoras y Robots	Automotriz y química.	Desarrollo de semillas de alto rendimiento, perfeccionamiento del uso de fertilizantes químicos.

Fuente: Adaptación propia de Prisecaru, P., (2016)

2.3. Agricultura 4.0

El término agricultura 4.0 comienza a utilizarse como una de tantas extensiones de la “cuarta revolución industrial”, sin embargo, no existe un consenso claro con respecto al inicio del uso de este (Albiero, 2021). Algunas manifestaciones paralelas en contenido conceptual empezaron a destacar dentro de la literatura

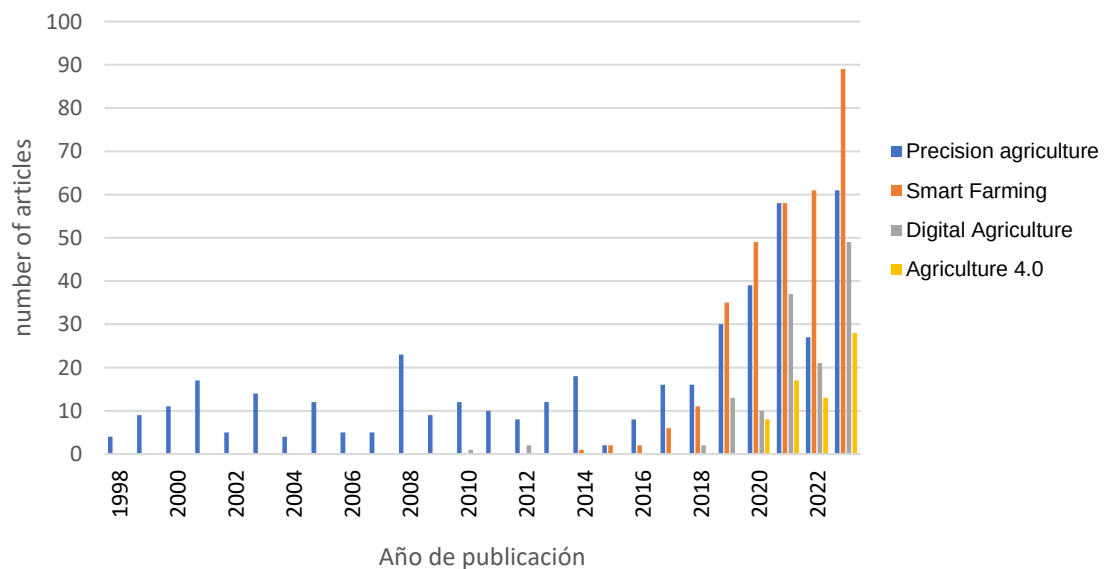
como “Agricultura de precisión” o “Agricultura digital” o “Agricultura inteligente” (“Digital Agriculture”, “Precisión Farming”, “Smart Farming”). Un factor común a estos términos es el creciente uso y asociación de nuevas tecnologías en favor de la producción agropecuaria, los cuales de manera paralela fueron dando cuerpo a la literatura correspondiente.

Con el fin de aproximar la emergencia académica más precisa del término se efectuó una búsqueda de artículos publicados en torno a esta nueva tendencia.

Haciendo uso del buscador de artículos académicos de “ScienceDirect” se realizó una búsqueda de los términos “Precision Farming”, “Smart Farming”, “Digital Agriculture” o “Agriculture 4.0” enfatizando la aparición del término en palabras clave, resumen o título del artículo.

El resultado arroja los siguientes registros ordenados en la figura 1 por año de aparición.

FIGURA 1. Bibliografía sobre agricultura 4.0 por año de aparición



Fuente: Resultados de búsqueda en ScienceDirect

Como se puede apreciar, la agricultura de precisión es un tipo tecnología de la agricultura que precede la llegada plena de las tecnologías de la cuarta revolución industrial.

Una forma alternativa de apreciar la evolución del concepto agricultura 4.0 es desagregar el uso de las tecnologías que se han utilizado con éxito en procesos de producción agrícola.

Para ello se hace un llamado a las tecnologías de la cuarta revolución industrial presentadas anteriormente.

- i) Robótica,
- ii) Datos en Gran Volumen
- iii) Internet de las cosas
- iv) Inteligencia artificial,
- v) Cómputo en la nube
- vi) Conectividad 4y 5G

Se dividirá en dos periodos el avance de la aplicación de estas tecnologías considerando el periodo 1990 a 2015 como el más representativo de la agricultura de precisión y el 2015 – actual el de la agricultura inteligente.

2.3.1. Agricultura de precisión (1990 a 2015)

Una referencia temprana (1997) que es producto de un esfuerzo colaborativo de las Academias de Ciencias, Ingeniería y Medicina de Estados Unidos a través de su brazo de investigación el National Research Council (NRC) (National Research Council, 1997), considera que los elementos que componen la agricultura de precisión “permiten vislumbrar un incremento en la productividad agrícola al tiempo que los costos de producción e impactos ambientales se minimizan”.

Es así que define la Agricultura de Precisión como: “Una estrategia de administración de tecnologías de información para traer datos de múltiples fuentes para que sean relevantes en decisiones asociadas a la producción de cultivos” (National Research Council, 1997).

Asimismo, considera tres componentes esenciales de este tipo de agricultura como son la captura de datos en frecuencia y escala apropiada, su interpretación y análisis y la implementación de una respuesta gerencial en el tiempo y tamaño apropiados.

Las fuentes de información generalmente provendrían de herramientas desarrolladas para otros ámbitos de actividad científica como son satélites, cámaras multiespectrales o sensores, los cuales también encontraron un uso en la agricultura.

Son varias las aplicaciones iniciales de agricultura de precisión mismas que se ilustran a continuación tomando como guía la recolección de aplicaciones tempranas descrita por Mulla, D.J., (2015).

2.3.1.1. Aplicación variable de fertilización en suelos.

El análisis de suelos es una tecnología que antecede en buena medida a las tecnologías inherentes a la agricultura de precisión, pero su uso para aplicación variable no fue extendido con anterioridad por un lado por el bajo costo de fertilización y mano de obra, así por como la falta de maquinaria especializada necesaria para su aplicación. Como consecuencia de una elevación del costo de los insumos, la constante necesidad de elevar la productividad y la incursión de nuevas tecnologías originalmente desarrolladas en otros ámbitos de actividad como por ejemplo el militar, años después, se iniciaron los esfuerzos para realizar aplicación variable del fertilizante.

Son varios los métodos de recolección de información y mapeo de suelos, destacando, el análisis de suelos combinado con el procesamiento de información vía geoestadística. El uso de geoestadística representó un avance importante en materia de mapeo de suelos por medio de muestras cuyos métodos estadísticos son más apropiados para este fin. Esta disciplina se inició para la industria de la minería donde es relevante conocer las características de contenido de mineral de las minas y en donde se estima que existe correlación en la distribución espacial del mineral. La limitación de las técnicas estadísticas tradicionales para estimar estos mapas es que no recogen apropiadamente la característica natural de correlación de contenido de mineral en el espacio que conforma la mina. La geoestadística busca resolver ese problema en las partes no muestreadas considerando la correlación natural del suelo adicionando una medida de varianza alrededor de las predicciones. Su uso ha demostrado reducciones significativas en el número de muestras a recoger como se demuestra en un huerto de mango en Brasil (Silva, 2020).

Otros métodos de diagnóstico de fertilizante necesario son a través de mecanismos de percepción remota con el uso de sensores que permiten ver el espectro infrarrojo y construir el NDVI, mismos que se estudiarán con detalle en el capítulo 4.

2.3.1.2 Aplicación variable de herbicida en suelos

La aplicación de herbicidas inorgánicos a campos agrícolas se realiza desde la primera mitad del siglo 20, sin embargo, el interés en aplicarlo de manera diferenciada surge mucho después al concluirse que existe una posibilidad de optimizar su uso para elevar la rentabilidad del productor. De manera posterior este interés se refuerza por preservación del medio ambiente, así como por privilegiar la salud humana, aunque simultáneamente pierde cierta tracción con la creación de semillas que producen plantas resistentes a la aplicación de dichos herbicidas.

En todo caso los primeros ejemplos de aplicación selectiva de herbicidas se documentan en los años 1980 y 1990s (Haggar et al. 1983) utilizando un difusor de herbicida que se activaba en respuesta a un sensor óptico con capacidad de leer la reflexión de luz roja e infrarrojo cercano de hierbas sobre un terreno sin cultivo. Un ejemplo menos temprano es el que presenta Tian (Tian et al. 2000) con el uso de cámaras de video a color de baja resolución para identificar en tiempo real cúmulos de hierbas entre hileras de maíz y soya con lo cual posteriormente se aplica de manera diferenciada el herbicida, generando ahorros al productor hasta del 48%.

2.3.1.3.- Aplicación variable de agua de riego

Otro de los temas relevantes en agricultura que ha ganado mayor relevancia es la disponibilidad del agua y su uso eficiente ante la escasez por la sobreexplotación de los mantos acuíferos. Asimismo, la mayor varianza en la precipitación pluvial que se presenta ante el cambio climático hace más necesario tener capacidades de aplicación diferenciada de agua para mantener una tasa de aplicación de agua constante.

Por otro lado, la aplicación excesiva de agua tiene varios efectos negativos además del más evidente de no hacer un uso eficiente del escaso recurso. Uno de ellos es el “lavado” de minerales de la tierra, pero también de otros agroquímicos como son fertilizantes o plaguicidas los cuales, ante el exceso del agua, corren el riesgo de depositarse en otras zonas donde tienen efectos de contaminación del medio ambiente. Los primeros esfuerzos para hacer un uso más preciso de las necesidades del agua se documentan en la década de los 1990s (Mcann y Stark, 1993) al presentarse una patente de aplicación variable de agua de riego. La detección de necesidades de agua se realiza con fotografía aérea o muestreo de suelos mientras que la aplicación de agua variable se logra a través de válvulas de control diferenciado a las salidas de agua de las mangueras que son comandadas por módulos que con el uso de datos permiten dar instrucciones diferenciadas según el posicionamiento de cada válvula.

El uso de maquinaria con capacidades de aplicación diferenciada de fertilizante que minimiza la pérdida de este en huertos (Holownicki, 2000), o el uso de imágenes digitales para detectar plantas de maíz afectadas por el gusano cogollero para un tratamiento más preciso de la plaga (Sena, 2003), o la mejor regulación de prácticas de irrigación y fertilización para disminuir el filtrado de nitrógeno al subsuelo y mantener la productividad de la parcela (Ruelle, 2003).

2.3.2. Agricultura digital (periodo 2015 a la fecha)

El concepto de agricultura digital se asocia al término “tierra digital” el cual según la declaración de Beijing⁴¹ señala que “tierra digital es una parte integral de otras tecnologías avanzadas que incluyen: observación de la tierra, sistema geoinformáticos, sistemas de posicionamiento global... Se avizora como un contribuyente estratégico global al desarrollo científico y tecnológico...” En el ámbito de la agricultura, el mismo autor lo concibe como “una base de datos que incluye no solo varios tipos de datos relevantes para la agricultura, desde condiciones de suelos hasta evaluaciones de los mercados, pero también funciones de decisión óptimas que ayudan a tomar las mejores decisiones en una serie de procesos asociados a la agricultura y su mercadeo”.

Un paso significativo en el desarrollo de este tipo de agricultura se identifica con la llegada de las demás tecnologías de la cuarta revolución industrial a partir de aproximadamente 2015, como son internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial y cómputo en la nube. Si bien la agricultura hasta este momento había progresado con el control y alcance de la inteligencia humana, los pasos posteriores involucran la guía y potenciación de los procesos con base en la inteligencia artificial.

Smart farming (Godwin, 2021) es “la aplicación de sistemas de información y comunicación inteligentes tales como IoT, cómputo en la nube, aprendizaje de

41 "The 6th International Symposium on Digital Earth - Digital Earth in Action". 159.226.224.4. 2009-09-12. Archived from the original on 2012-02-27.

máquina, inteligencia artificial, y redes con el propósito de incrementar la producción”.

En esta generación se vuelve cada vez más importante el uso del software y no solo hardware para potenciar la producción. La gran cantidad de datos y la frecuencia de estos provenientes del uso extendido de sensores que pueden insertarse en las hojas de las plantas, generan una información que el cerebro humano no puede procesar y que es posible potenciar, incluso en tiempo real, con el apoyo de tecnologías de comunicación y algoritmos cada vez más potentes.

Tomando como guía la clasificación resultante de la revisión de literatura de Maffezzoli et al. (2022) se presentan las siguientes categorías de aplicación de las tecnologías de agricultura 4.0 asociada al término digital⁴².

- i) Gestión eficiente de agua
- ii) Manejo y monitoreo de cosechas (Crecimiento y salud)
- iii) Predicción y monitoreo de clima
- iv) Gestión eficiente de insumos agroquímicos
- v) Monitoreo de ganado
- vi) Cultivo en invernadero
- vii) Hidroponía y acuaponía

2.3.2.1 Gestión eficiente de agua

En la presente categoría se halla un cúmulo importante de aplicaciones de nuevas tecnologías que tienen como objetivo mejorar la gestión el agua en muy diversos contextos. Con el fin de ser lo más exhaustivos posible se ofrece como referencia una revisión de literatura específica (Preite et al., 2022) la cual destaca las siguientes aplicaciones especializadas en nuevas tecnologías.

⁴² Se enfatizan las aplicaciones correspondientes al sector primario productivo.

Sensores inteligentes para monitorear factores exógenos de las plantas:

Sensores IoT, mismos que son utilizados para gestionar sistemas de riego proporcionando agua a las plantas solo cuando lo necesitan. Los sensores evalúan variables como la humedad del suelo, la temperatura del aire y la humedad relativa. Ejemplos del uso de esta tecnología son sistemas que usan sensores de humedad del suelo y algoritmos de aprendizaje automático para optimizar el riego.

Sensores inteligentes para monitorear factores endógenos de las plantas

Se ilustra, entre otros, el uso de transistores electroquímicos orgánicos que son insertados en los tallos de las plantas para monitorear continuamente los cambios en la composición iónica de la savia. Esto permite detectar el estrés hídrico en tiempo real y ajustar el riego en consecuencia. Ejemplos del uso son el monitoreo de cultivos de tomate, kiwi y soya para detectar el inicio del estrés hídrico y optimizar el uso de agua y fertilizantes.

Sistemas inteligentes para predecir el estrés por sequía:

Dentro de esta categoría se hallan modelos de predicción de estrés hídrico los cuales utilizan datos históricos de precipitaciones, sensores de contenido de agua en el suelo, imágenes de satélite de alta resolución y variables intrínsecas de las plantas como la tasa de evapotranspiración. Ejemplos del uso es la predicción de estrés por sequía para cultivos de algodón en Grecia que combina diversas fuentes de datos para gestionar el riego de manera eficiente.

Sistemas de reciclaje de agua inteligentes:

Esta aplicación de nuevas tecnologías se enfoca en la recuperación de agua a través de tecnologías innovadoras como la destilación por membrana al vacío con fibras huecas de PVDF para desalinizar soluciones salinas y obtener agua fresca para la agricultura controlada.

2.3.2.2 Manejo y monitoreo de cosechas

Las aplicaciones de manejo y monitoreo de cosechas se refieren en su mayoría al uso de nuevas tecnologías de percepción remota que de la mano de otras tecnologías permiten elevar la cantidad y calidad de las cosechas. Una referencia importante es Sishodia, R. P. et al., (2020) el cual revisa los sistemas, técnicas y índices de vegetación utilizados en la teledetección y su aplicación en la agricultura de precisión. Esta vertiente tecnológica tiene los siguientes usos:

Detección de estrés hídrico y nutricional:

Los índices de vegetación, como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) permiten monitorear la salud de la planta. Como se verá en el capítulo 4, el NDVI se calcula a partir de la reflectancia de la luz en las bandas del rojo y del infrarrojo cercano. Las plantas saludables reflejan más infrarrojo cercano y menos rojo. Una disminución en el NDVI puede indicar estrés hídrico o deficiencia de nutrientes. Esta información recogida ya sea por satélite, dron o aparatos manuales permite intervenciones tempranas y precisas para mitigar estos problemas.

Seguimiento del crecimiento:

Las imágenes de satélite de alta resolución proporcionan datos sobre el desarrollo fenológico de los cultivos. Estas imágenes permiten a los agricultores ajustar prácticas de manejo como el riego y la fertilización en diferentes etapas de crecimiento.

Aplicación de fertilizantes

La teledetección permite la aplicación de fertilizantes a tasas variables mediante la creación de mapas de rendimiento y fertilidad del suelo. Estos mapas identifican zonas con diferentes niveles de necesidad de nutrientes, lo que permite ajustar la cantidad de fertilizantes aplicados. Esto no solo optimiza el uso de insumos, sino que también reduce el impacto ambiental. Este efecto se ilustrará más adelante en el contexto del Valle del Yaqui en México.

Mapeo de la fertilidad del suelo:

A partir de datos de teledetección, se crean mapas detallados de la fertilidad del suelo. Estos mapas guían a los agricultores en la toma de decisiones sobre la aplicación de fertilizantes, asegurando que se apliquen en las cantidades correctas y en los lugares adecuados para maximizar la eficiencia y minimizar el desperdicio.

Manejo de plagas y enfermedades

Las imágenes multiespectrales y térmicas son herramientas efectivas para la detección temprana de plagas y enfermedades. Cambios en la reflectancia de las plantas pueden indicar la presencia de infestaciones o infecciones. La detección temprana permite implementar medidas de control antes de que las plagas o enfermedades se propaguen, reduciendo así el daño y los costos de control. Estas estrategias de control combinan métodos biológicos, químicos y de cultivo para hacer frente a las plagas de manera sostenible y efectiva, minimizando el uso de pesticidas y su impacto ambiental.

Predicción de rendimiento

Los modelos predictivos se basan en datos de teledetección para estimar el rendimiento de los cultivos antes de la cosecha. Estos modelos utilizan variables como el NDVI, la humedad del suelo y las condiciones climáticas para proporcionar estimaciones precisas del rendimiento. Esto ayuda a los agricultores a planificar la cosecha y a tomar decisiones de mercado informadas.

2.3.2.3 Predicción y monitoreo de clima

La rama de agricultura digital dedicada a la predicción y monitoreo del clima se centra en recopilar datos meteorológicos en tiempo real, prever patrones climáticos futuros y proporcionar información precisa y oportuna a los agricultores. Esto permite tomar decisiones informadas sobre la gestión de cultivos, el riego, la aplicación de fertilizantes y pesticidas, entre otras prácticas

agrícolas. Lipper, L et al. (2018). Dentro de esta categoría se ofrece a los productores

Sensores y estaciones meteorológicas

Se utilizan sensores distribuidos en los campos agrícolas y estaciones meteorológicas automatizadas que recopilan datos como temperatura, humedad, velocidad del viento, precipitación, radiación solar, entre otros. Estos permiten dar instrucciones de riego precisas conforme a las necesidades únicas de las plantas.

Modelos de predicción climática

A través del uso de modelos computacionales para prever condiciones climáticas a corto, mediano y largo plazo. Estos modelos integran datos históricos y en tiempo real para generar pronósticos precisos.

Plataformas de información y decisiones

Se ofrecen plataformas digitales que integran datos climáticos con otros datos agronómicos y económicos, proporcionando herramientas de análisis y visualización para apoyar la toma de decisiones por parte de los agricultores.

2.4. Conclusiones

El análisis de la evolución de la agricultura y las revoluciones industriales destaca la importancia crítica de la tecnología en el desarrollo y sostenibilidad de la producción agrícola. Desde la primera revolución industrial hasta la cuarta, se ha evidenciado cómo la integración de nuevas tecnologías ha transformado radicalmente las prácticas agrícolas, incrementando la productividad y mejorando la eficiencia en el uso de recursos.

La Agricultura 4.0, como una extensión de la cuarta revolución industrial, representa un cambio paradigmático que integra tecnologías avanzadas como IoT, big data, inteligencia artificial, y conectividad 5G, entre otras. Estas

tecnologías no solo permiten una gestión más precisa y eficiente de los recursos agrícolas, sino que también promueven prácticas sostenibles que pueden mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente. La aplicación de estas tecnologías en la agricultura moderna facilita una toma de decisiones más informada y basada en datos, optimizando el uso de insumos y mejorando la calidad de las cosechas.

La convergencia de tecnologías de la cuarta revolución industrial en la Agricultura 4.0 ofrece una oportunidad única para abordar los desafíos contemporáneos de sostenibilidad y eficiencia en la producción agrícola. Sin embargo, el éxito de esta transformación dependerá de la capacidad de integrar estas innovaciones de manera coherente y de promover políticas que apoyen un desarrollo equilibrado y sostenible, garantizando así la seguridad alimentaria y el bienestar a largo plazo.

2.5. Bibliografía

Albiero, D., Paulo, R. L., Júnior, J. C., Santos, J. D., & Melo, R. P. (2021). Agriculture 4.0: A terminological introduction Agricultura 4.0: uma introdução terminológica.

Bainbridge, W. S., Montemagno, C., & Roco, M. C. (2003). *Converging Technologies for Improving Human Performance*.

Bairoch, P. (1989). Les trois révolutions agricoles du monde développé: rendements et productivité de 1800 a 1985. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 44(2), 317–353.

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. (2021, July 21). Industrial Revolution. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution>

Chung, H. (2021). Adoption and Development of the Fourth Industrial Revolution Technology: Features and Determinants. *Sustainability*, 13(2), 871. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13020871>

Cukier, K. (2010, February 25). Data, data everywhere: A special report on managing information. *The Economist*.

Diebold, F. X. (2012). A Personal Perspective on the Origin(s) and Development of 'Big Data': The Phenomenon, the Term, and the Discipline, Second Version. *PIER Working Paper No. 13-003*.

Fermanis, M. (2020). 5G vs 4G, What's the Difference?

Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2), 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>

Greenstein, S. (2015). Who Is Gordon Moore, and Why Is There a Law Named for Him? *IEEE Micro*, 35, 80-c3. <https://doi.org/10.1109/MM.2015.84>

Haggar, R. J., Stent, C. J., & Isaac, S. (1983). A prototype hand-held patch sprayer for killing weeds, activated by spectral differences in crop/weed canopies. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 28(4), 349-358.

Hickel, J. (2021). What does degrowth mean? A few points of clarification. *Globalizations*, 18(7), 1105-1111. <https://doi.org/10.1080/14747731.2020.1812222>

Holownicki, R., Doruchowski, G., Godyn, A., & Swiechowski, W. (2000). Precision Agriculture: Variation of Spray Deposit and Loss with Air-jet Directions applied in Orchards. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(2), 129-136.

Idoje, G., Dagiuklas, T., & Iqbal, M. (2021). Survey for smart farming technologies: Challenges and issues. *Computers & Electrical Engineering*, 92.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel

on Climate Change [Masson-Delmotte, V. et al.]. Cambridge University Press. In Press.

Jain, D., Krishna, P. V., & Saritha, V. (2012). A study on Internet of Things based applications. *arXiv preprint arXiv:1206.3891*. <https://arxiv.org/abs/1206.3891>.

Lipper, L., N. McCarthy, Zilberman, D. & Asfaw, S. (2018). Climate Smart Agriculture: Building Resilience to Climate Change. FAO and Springer, 2018.

Malthus, T. R. (1798). *An Essay on the Principle of Population*. History of Economic Thought Books, McMaster University Archive for the History of Economic Thought.

McCann, I. R., & Stark, J. C. (1993). Method and apparatus for variable application of irrigation water and chemicals. U.S. Patent No. 5,246,164, issued September 21, 1993.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens, W., & Club of Rome. (1972). *The Limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.

Mulla, D. J., & Khosla, R. (2015). Historical Evolution and Recent Advances in Precision Farming.

National Research Council. (1997). *Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management*. Washington, DC: The National Academies Press.

Preite, L., Solari, F., & Vignali, G. (2023). Technologies to optimize the water consumption in agriculture: A systematic review. *Sustainability*, 15(5975). <https://doi.org/10.3390/su15075975>

Prisecaru, P. (2016). Challenges of the Fourth Industrial Revolution. *Knowledge Horizons - Economics*, 8(1), 57-62. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:khe:journl:v:8:y:2016:i:1:p:57-62>

Ruelle, P., Mailhol, J. C., Quinones, H., & Granier, J. (2003). Using NIWASAVE to simulate impacts of irrigation heterogeneity on yield and nitrate leaching when using a travelling rain gun system in a shallow soil context in Charente (France). *Agricultural Water Management*, 63(1), 15-35.

Schwab, K. (2021). The Fourth Industrial Revolution. *Encyclopedia Britannica*.
<https://www.britannica.com/topic/The-Fourth-Industrial-Revolution-2119734>

Sena Jr, D. G., Pinto, F. A. C., Queiroz, D. M., & Viana, P. A. (2003). Fall Armyworm Damaged Maize Plant Identification using Digital Images. *Biosystems Engineering*, 85(4), 449-454.

Silva, K. A., et al. (2020). Soil sampling optimization using spatial analysis in irrigated mango fields under Brazilian semi-arid conditions. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(5), e-173.

Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136.
<https://doi.org/10.3390/rs12193136>

The 6th International Symposium on Digital Earth - Digital Earth in Action. (2009). 159.226.224.4. Archived from the original on 2012-02-27.

The White House. (2016). Preparing for the Future of Artificial Intelligence.

Turing, A. M. (1950). I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE. *Mind*, 59(236), 433–460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

Turner, G. M. (2008). A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality. *Global Environmental Change*, 18(3), 397-411.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.05.001>

Turner, G. (2014). Is Global Collapse Imminent? *MSSI Research Paper No. 4*. Melbourne Sustainable Society Institute, The University of Melbourne.

UN General Assembly. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. *A/RES/70/1*.

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

Xu, M., David, J. M., & Kim, S. H. (2018). The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90-95. <https://doi.org/10.5430/ijfr.v9n2p90>

CAPÍTULO 3: AGRICULTURE 4.0: IS MEXICO READY??⁴³

⁴³ Elizondo Flores, J. A., Montes-Rivera, F. Y., Valdivia-Alcalá, R., & Cruz-Betanzos, A. (2023). Agriculture 4.0: Is Mexico Ready? *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2495>

Agriculture 4.0: Is Mexico Ready?

Elizondo-Flores, Jesús, A.^{1*}; Montes-Rivera, Fredy, Y.¹; Valdivia-Alcalá, R.²; Cruz-Betanzos, A.¹

¹ Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, Morelia, Michoacán, Mexico, C.P. 58342.

² Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, Mexico, C.P. 56230.

* Correspondence: aelizondof@gmail.com

ABSTRACT

Objective: To analyze the possibilities and actions required to foster the introduction of technologies consistent with the term “agriculture 4.0” in Mexico.

Design/Methodology/Approach: To identify providers of technology in Mexico. To present the cost-benefit equation regarding the adoption of said technology as applied to the cultivation of maize in different regions. To design and construct an adoption propensity index that will serve as a basis to propose focused and adequate actions to remove technology access barriers.

Results: Mexico has a young and wide offer of technology, both tangible and intangible, where digital platforms of agricultural management, mobile apps, and remote monitoring predominate. The cost-benefit relationship offers a large margin to adopt new technologies. However, there are adoption barriers (related to education or infrastructure, for instance) that represent a challenge to different regions of the country: the northern, northeastern, and western states of Mexico are more likely to adopt new technologies.

Study limitations/Implications: Further experimental and field analyses are required to delve deeper into potential additional barriers (culture-related, for example).

Findings/Conclusions: The cost-benefit analysis offers a large margin for adoption. However, the propensity to adopt is associated to restricting factors such as the producers’ educational level, the production unit’s size and level of mechanization, the access to and use of Information and Communication Technologies, and the telecoms infrastructure, whose geographic disparity is significant. The public sector’s intervention is desirable to reduce the gap between the supply and demand of technologies, as well as the access barriers to the latter.

Key words: Precision agriculture, Digital gap, Technology adoption, Intangible technologies.

Citation: Elizondo-Flores, J. A., Montes-Rivera, F. Y., Valdivia-Alcalá, R., Cruz-Betanzos, A. (2023). Agriculture 4.0: Is Mexico Ready? *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2495>

Academic Editors: Jorge Cadena Iñiguez and Lilibia Iris Trejo Téllez

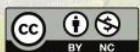
Received: January 30, 2023.

Accepted: March 15, 2023.

Published on-line: May 29, 2023.

Agro Productividad, 16(4). April. 2023. pp: 91-106.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



INTRODUCTION

In 1968, the Club of Rome (Meadows *et al.*, 1972) challenged the limits that our natural environment imposes on the growth of human activity.^[1] The results sounded the alarm due to the bleak conclusions drawn by the participants when illustrating the excess processes that can be reached, and to the scenario of collapse they laid out for humanity in the 21st century were the collective course of action not rectified. At the same time, the current technological advances combine diverse spheres of knowledge and have come to be called the Fourth Industrial Revolution (Schwab, 2017), the basic technologies of

¹ The dynamic modeling of five subsystems is considered, i.e. population, agricultural production, depletion of

the current revolution are, among others: the Internet of Things (IoT), cloud computing, big data management, 5G, artificial intelligence, 3D printing, robotics, and virtual and augmented reality.

At the center of this crossroads lies an essential element of the limits to growth: the supply of natural resources to provide food for the population. The consumption, growth, and depletion of said resources is largely related to the available amount of arable land. According to FAO, the amount of arable land per capita in the world in 1961 was 0.45 ha. This figure dropped to 0.21 available ha in 2016 and maintains an estimated annual reduction rate of 0.08 ha per capita. Based on FAO data, yield improvements will be the main source of production increases (78% of improvements between 1961-1999 and 70% towards 2030).

Unlike the previous periods, the subsequent expansion stage of agricultural productivity will face unprecedented challenges such as: i) a historically low availability of agricultural lands; ii) a changing climate that manifests in greater episodes of drought, floods, and extreme heat waves; and iii) restrictions in the use of energy and fertilizers due to the greater conscience regarding the impact of agricultural activities on the environment, among other limiting factors.

Two periods of significant advances are identified in the group of technologies related to the fourth industrial revolution: 1990 to 2014, a period associated to precision agriculture, and 2015 to date, linked to smart farming and agriculture 4.0. The new technologies will bring a greater availability of foods worldwide; however, foreseeing the impact of said technologies in a country like Mexico is still difficult due to the great inequalities that characterize its primary sector.

To help understand the technological advances, this article sets out to describe how the new technologies are made up, what their supply and demand potential is in the Mexican context, as well as to identify the potential barriers that are keeping us from turning these technologies into an opportunity to reduce —instead of widening— the development gap in rural Mexico.

MATERIALS AND METHODS

The adoption of new technologies for agricultural development is usually heterogenous among and within countries. A publication search in the “ScienceDirect” platform was done using the key terms “Precision Agriculture”, “Smart Farming”, and “Digital Agriculture” / “Agriculture 4.0”, in order to examine the performance reports, obstacles, and results of applying this technology. The presence of the terms in article key words, abstracts, or titles was emphasized.

To identify the degree of adoption and the provider profile in Mexico, we turned to the new technologies adoption database recently prepared by Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA).^[2] The nature of technological innovation was

² FIRA tends to Mexico's rural, agricultural, forest, and fishing sectors by granting loans, guarantees, and technical assistance through a vast network of associate businesses and around 100 offices throughout the country. <https://www.fira.gob.mx>

emphasized based on a distinction commonly made in agricultural economics (Sunding & Zilberman, 2001) regarding the type of technologies for agricultural production, which in turn can be divided into tangible or embodied^[3] and intangible or disembodied^[4] technologies. The viability of the adoption of new technologies in the country was subsequently assessed based on the assumption that the total income after adopting said technologies should be higher than the total income before such adoption. The variable income per hectare I_{ha} was thus defined and expressed as a function of the yield per hectare Y_{ha} and the cost per hectare C_{ha} , according to the following equation:

$$I_{ha} = Y_{ha} - C_{ha} \quad (1)$$

The necessary condition to adopt the technology is:

$$I_{ha}^t \geq I_{ha}^{t0} \quad (2)$$

Where superscript t describes the technology that allows us to define income I_{ha}^t . We used $\alpha(t)$ to designate a change factor of production per hectare due to the adoption of technology t , and $\beta(t)$ to designate a change factor of cost per hectare due to the adoption of technology t . Both $\alpha(t0)=0$ and $\beta(t0)=0$, where $t0$ is the original technology. The variable is defined as follows:

$$Y_{ha}^t = N_{ha}^t * P_{crop}$$

and

$$C_{ha} = Cind_{ha}^{t0} + Cdep_{ha}^t$$

where

$$N_{ha}^t = (1 + \alpha(t)) * N_{ha}^{t0} \text{ and } Cdep_{ha}^t = Cdep_{ha}^{t0} (1 + \beta(t))$$

Where N_{ha}^{t0} is the number of tons per hectare yielded by the crop when using the initial technology $t0$; P_{crop} is the price of the crop; $Cind_{ha}^{t0}$ is the cost per hectare of modifying the crop, where the cost is independent from the used technology, while $Cdep_{ha}^t$ is the corresponding cost, where the cost is dependent on technology t . Substituting equation (1) in equation (2), the following condition ensues:

³ These technologies are incorporated into physical devices such as agricultural machinery, sensors for animals or plants, drones and robots, among others.

⁴ These technologies comprise, for instance, remote consultancy platforms, software to manage and monitor crops, and digital platforms boosted by data mining.

$$\begin{aligned}
 (1 + \alpha(t)) * N_{ha}^{t0} * P_{crop} - (Cind_{ha}^{t0} + Cdep_{ha}^{t0} (1 + \beta(t))) &\geq N_{ha}^{t0} * P_{crop} \\
 - (Cind_{ha}^{t0} + Cdep_{ha}^{t0}) & \\
 \alpha(t) \geq \frac{Cdep_{ha}^{t0}}{N_{ha}^{t0} * P_{crop}} \beta(t) &
 \end{aligned} \tag{3}$$

Inequality (3) represents the change factor in production necessary for the producer's income to be greater with technology t than with the original technology t_0 . Finally, to analyze the natural access barriers to new technologies we created a development index (UNDP, 2022) considering four development variables that restrict the adoption of agriculture 4.0 technologies: production unit size, 3G and 4G coverage, educational lag and level of Information and Communication Technologies (ICT) use, and degree of agricultural labor mechanization. All of this was based on information from four surveys.^[5]

RESULTS AND DISCUSSION

The term agriculture 4.0 was first used as one of many extensions of the “fourth industrial revolution” (Schwab, 2017). Figure 1 shows two development stages of the new technologies as applied to agriculture. The first one (1998-2014) refers to precision agriculture, which according to the National Research Council (1998) is an “IT management strategy to obtain data from multiple sources to make them relevant in decisions related to crop production”. Precision agriculture considers three basic components: data capture at an appropriate frequency and scale, their interpretation and analysis, and the implementation of a managerial response in the appropriate time and size. The information sources generally come from tools developed for other spheres of scientific activity, such as satellites, multispectral cameras, or sensors. The increase in the number of bibliographic references largely linked to digital and smart farming from the period 2014-2017 is noteworthy. From this period onwards, articles refer to big data technologies (Wolfert *et al.*, 2017), cloud computing (Pivoto *et al.*, 2018), digital innovation (Ayre *et al.*, 2019), the Internet of Things (Doshi *et al.*, 2019), and artificial intelligence (Spanaki *et al.*, 2021), none of which were available during the preceding period. All of these technologies led to a natural evolution of precision agriculture.

International service providers

Birner *et al.* (2021) identified four types of agricultural technology providers.

⁵ Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (2007) for production units and land areas; Instituto Federal de Telecomunicaciones and Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (IFT-SADER, 2020) for 3G and 4G coverage; Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA, 2019) for variables related to the use of tractors, educational level, and the use of ICT in production units.

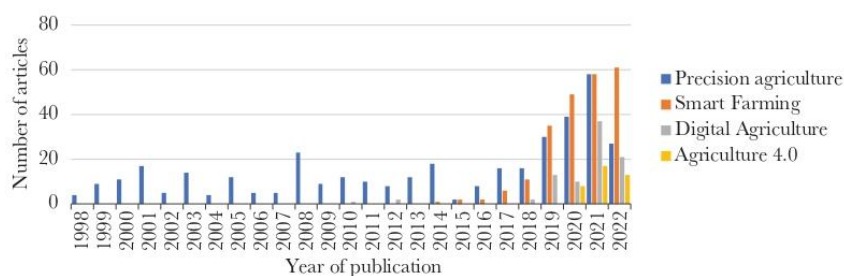


Figure 1. Bibliographical references relevant to agricultural technology innovation

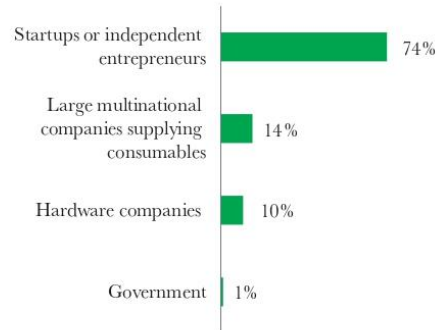
Table 1. Types of technology providers.

Type of provider	Value offer	Examples
Large multinational companies supplying consumables	They provide services alongside their products and have a great capacity to invest in research and development (R&D), and to distribute their services through their commercial networks.	Bayer, Syngenta, Monsanto, DuPont, Yara.
Large software and hardware multinational companies	Large software companies with the capacity to gather and process very vast databases.	IBM, Microsoft, SAP, Tencent, Alibaba, Google.
Hardware companies (not necessarily agricultural)	They have economies of scales and give added value to their main lines of business (<i>e.g.</i> machinery).	Bosch, John Deere, Airbus, XAG, Massey Ferguson, Fendt, Kubota.
Startups or independent entrepreneurs (not necessarily specialized in the agricultural sector)	Agility and innovation, as well as specialization in added value services for producers.	DigiFarm, Hello Tractor, Xarvio app, RML AgTech, Cropin.

Based on the survey results, we identified 86 technology providers in Mexico, most of them (74%) startups or independent entrepreneurs who offer both tangible and intangible technology. In contrast, we could not find any software provider with a large multinational company profile. Meanwhile, the large hardware companies are scarce in the country; they represent 10% of the total. In the latter category, we found companies such as John Deere, Massey Ferguson, and XAG. In short, these providers offer technologies related to agriculture 4.0 in Mexico: 49 of them offer technologies classified as tangible (57%) and 37, as intangible (43%) (see Figures 2 and 3).

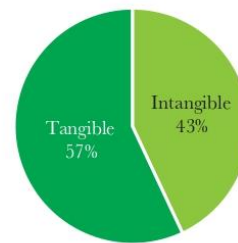
During the last 14 years, the adoption of these technologies has increased, with a tendency to adopt more intangible technologies than tangible ones. Digital platforms of agricultural management were more present in 2018, mobile apps in 2019, and drones and agrobots in 2020.

In the end, we found an adoption process in place for a wide range of technologies in different production chains in Mexico, comprising basic grains, vegetables, and perennial crops. Maize stands out as the main crop to have adopted the different types of technology, both tangible and intangible, which is consistent with the socioeconomic importance this crop has in Mexico.



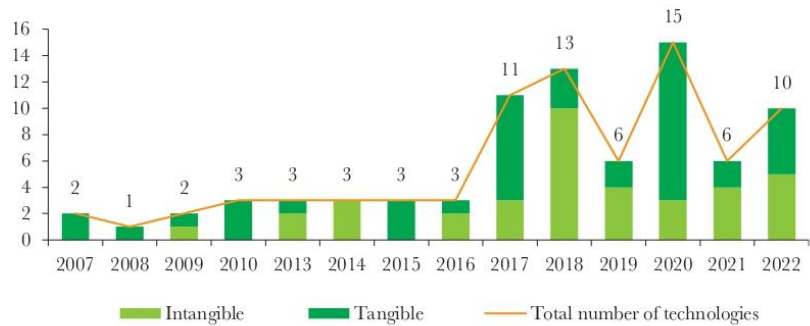
Source: Own elaboration based on information gathered by FIRA.

Figure 2. Technology providers in Mexico according to Birner's classification.



Source: Own elaboration.

Figure 3. Percentage of tangible and intangible technologies in Mexico



Source: Own elaboration based on information gathered by FIRA.

Figure 4. Historical series of technology adoption in Mexico, 2007-2022

Table 2. Characterization of technology types by agricultural chain and year of adoption.

Type of technology	Technology	Main agricultural chains where it is applied	Year of first adoption
Tangible	Drones	maize, wheat, cane, barley, vine, agave, cotton, tomato, citrics	2002
	Agrobots	Various crops	2016
	High-end tractors	maize, rice, banana, lemon, watermelon, melon, milk	2000
	Agricultural devices	maize, sorghum, bean, fava bean, sunflower, among other seeds	2005
	Monitoring system	maize, green chili, garlic, tomato, and milk	1995
Intangible	Apps	maize, barley, honey, vegetables, fruits, dairy products, meat, seafood, and pine tree	2013
	Digital platforms of agricultural management	maize, wheat, palm oil, apple, honey, lemon, vegetables, and coffee	2002
	Research & Development	Various crops	1982

Source: Own elaboration based on the information gathered by FIRA.

Potential demand of services in Mexico

The adoption of new technologies must meet the condition of generating a higher income for the producer, once the acquisition costs have been considered. This condition can be met under different parameters according to a series of production-related conditions, such as crop type, production region, currently available technology, product prices, as well as the component impacted by the new technology. Thus, considering production costs and yields databases^[6] by geographical zone, we analyze different scenarios that will allow us to assess the productivity increase thresholds that are necessary to generate a demand for new technologies.

The starting point to analyze this sensibility was the condition presented in equations (2) and (3). We chose three states with different advancement levels in maize productivity: Sinaloa (high productivity), Morelos (intermediate productivity), and Tlaxcala (low productivity). We imagined the adoption of a technology impacting fertilization costs.

Table 3. Analysis of the adoption of new technologies.

State	N_{ha}^{t0}	P_{maize} (\$)	$Cdep_{ha}^{t0}$ (\$)	$\frac{Cdep_{ha}^t}{N_{ha}^t * P_{crop}}$
Sinaloa	12	6,075	17,034	0.234
Morelos	7.5	6,500	9,722	0.199
Tlaxcala	4.85	6,300	3,974	0.130

⁶ Agrocostos FIRA www.fira.gob.m/agrocostos.

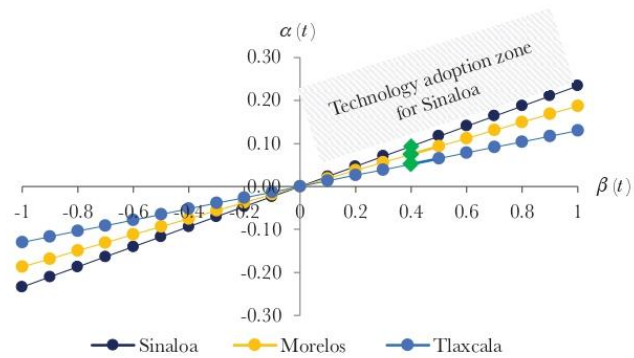


Figure 5. Change factor of maize productivity in Sinaloa, Morelos, and Tlaxcala

The slopes of the straight lines calculated define the new technologies adoption zone depending on the effect on production cost β_t . This zone is broad and lies above the straight lines according to:

$$\text{Sinaloa } \alpha(t) \geq 0.234 * \beta(t), \text{ Morelos } \alpha(t) \geq 0.199 * \beta(t), \text{ Tlaxcala } \alpha(t) \geq 0.130 * \beta(t)$$

In turn, the line delimiting the adoption threshold depends on the region's productivity N_{ha}^{t0} , the price of the product P_{maize} , and the cost associated to the adopted technology $Cdep_{ha}^0$. In this regard, Figures 6 and 7 analyze the sensibility of the increase in productivity necessary to adopt the new technologies (some scenarios of impact on cost $\beta(t)$ are additionally considered).

Figures 6 and 7 suggest three assumptions regarding the necessary conditions for the adoption of new technologies: i) the increase in productivity required to adopt technologies decreases as the price of maize rises; ii) the increase in productivity required for the adoption of technologies decreases when the degree of agricultural production development is higher; and iii) in a low performance setting, a relatively higher impact on productivity is required for the adoption of the new technology, regardless of its cost.

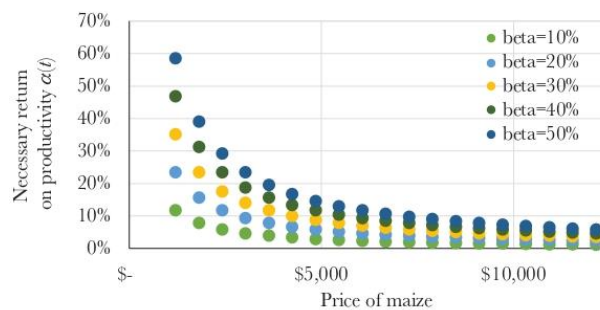


Figure 6. Isoquants for price of maize/return on productivity

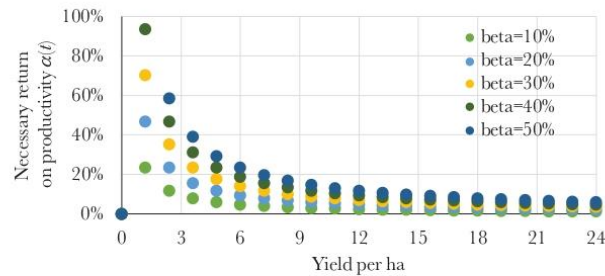


Figure 7. Isoquants for yield of maize/return on productivity.

Access barriers: infrastructure, technology, and capacities

As we already illustrated, the potential demand of digital technologies depends on different factors, such as geographical characteristics, level of mechanization, yield rate of the agricultural production units. All of these factors assume that attracting said technologies to the production setting is feasible. However, this is only possible if the minimal operation and adoption conditions required for the new technologies to perform are in place. As we have already mentioned, new technologies use cloud computing, the Internet of Things, and other digital devices that require basic access elements. Three relevant dimensions are analyzed below.

- I) Telecoms infrastructure: access to 3G and 4G services.
- II) Educational level, and use and adoption of ICT.
- III) Mechanization of agricultural labor.

Infrastructure

The 3G and 4G mobile coverage is an enabling element for both tangible and intangible technologies, for the latter require data to be collected in the field and then sent to data centers to be processed. Although many service providers have set up capacities to save information and then exchange it when connectivity services are accessed (GSMA, 2019), this issue continues to be a natural barrier to the adoption of the technologies described. According to the Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) and the Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) 2020, 81% of agricultural production units in Mexico report having access to 3G technologies, while 75% of them report having access to 4G technologies. The percentage of production units with access to this service in the states of Oaxaca, Guerrero, Campeche, and Quintana Roo is the lowest of the country. On the contrary, as shown in Figure 8, production units in the northeastern and western states of the country report a higher access to this service. Figure 12 shows that the states whose production units have larger agricultural work areas usually have a higher level of 3G and 4G connectivity and coverage.

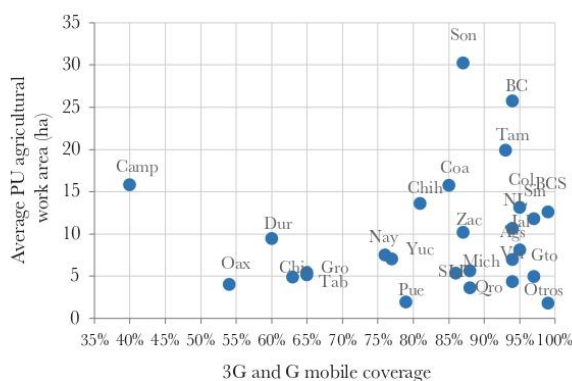


Figure 8. Average work areas according to their coverage level.



Figure 12. States according to their mobile coverage level.

Educational level, and use and adoption of ICT

The producer's or production unit owner's educational level is another aspect that restricts the demand for technologies, particularly those requiring digital interaction, such as remote consultancy or digital assessment apps. There are two types of abilities: basic education abilities, that allow the interpretation of figures and texts associated to crop development; and abilities that allow the use and adoption of communication and digital technologies. According to the Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA, 2019), the average schooling level of agricultural producers is 5.9 years: 57.1% of producers have primary education, 16.8% have secondary education, and 14.8% do not have any studies. The states of Baja California (1.7%), Durango (2.1%), Mexico City (2.8%), and Aguascalientes (3.1%) have a lower percentage of uneducated producers, as can be seen on Figure 13.

Figures 9 and 10 show that states where production units have larger work areas are related with both a lower educational lag and a higher use of ICT. When



Figure 13. Educational level in Mexico (% of producers with no studies).

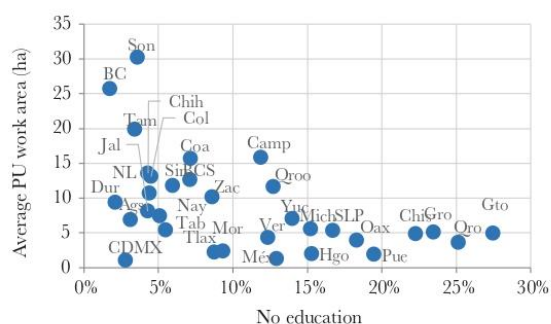


Figure 9. Average agricultural work area according to the owner's educational level.

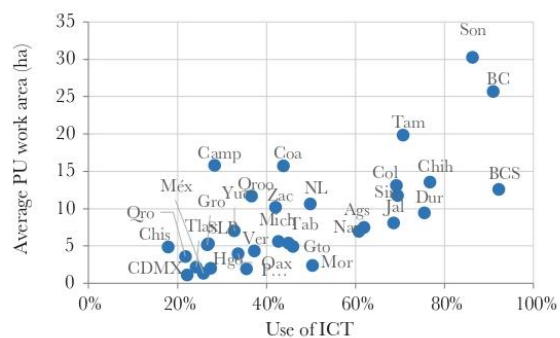


Figure 10. Average agricultural work area according to use of ICT.

analyzing the producer's income in relation to the use of ICT in Mexico, we obtain a Pearson correlation coefficient of -0.7 , which means that the larger the population^[7] with incomes below the poverty line (PL), the lower the use of ICT.

⁷ Living in municipalities with agricultural production units.

Mechanization

One of the main variables related to the potential demand of tangible technology is the level of mechanization of the production units. In this regard, the tractor is one of the more representative agricultural devices due to its versatility based on the large amount of implements it can use. According to ENA 2019 data, the higher percentage of production units that own a tractor are located in the northern, western, and northeastern states. In contrast, less than 40% of production units in most southern and southeastern states have tractors. This makes them less likely candidates to adopt tangible or embodied technologies, as Figure 14 shows.

The index of technology adoption potential is presented next in order to add in one dimension the basic conditions for the adoption of agriculture 4.0 technologies for each state of the country.

Figure 14 shows the geographic contrast between the northern, northeastern, and western production units, and those of the southern and southeastern regions with regard to their new technologies adoption potential. This evidence suggests the need of public policies to keep the new technologies from becoming a factor in further dividing the regions in terms of productivity.

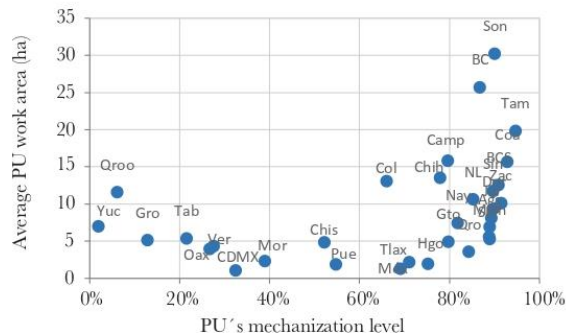


Figure 11. Average work area according to PU's level of mechanization.



Figure 14. Mechanization level in Mexico.



Figure 15. Index of technology adoption potential. (arithmetic mean)

Potential public policy actions to promote the adoption of new agriculture 4.0 technologies in Mexico:

Following the ideas that we have hitherto set out, we can offer a general outline of public policy actions that would, on the one hand, expand the offer of technology services and, on the other, foster their demand. In all cases, this development would take place within a regulatory framework that would encourage a more suitable adoption environment in the long run.

Fostering the conditions for supply

Course of action no. 1: Reducing the barriers between technology providers and the agricultural producers that currently operate in Mexico and could potentially receive the benefits of technological services related to the concept of agriculture 4.0.

- Promoting public-private alliances where public entities concentrate and order relevant information on rural production units according to their characteristics and make this information available to the private sector in exchange for benefits in the supply conditions of their services among the abovementioned production units.
- Including technology services of specialized companies in promotion programs that are currently on place, in order to enhance the value offered to producers and to tangibly expand the knowledge and benefits of new technologies among producers.
- Reducing the access barriers to the offer of technology services by concentrating the providers in a common marketplace.

Course of action no. 2: Encouraging the acquaintance with the offer of new technologies

- Generating public access information reports on service providers and periodically updating them so that they can serve as a radar for new technologies in the country.

- Validating the benefits of the new technologies either by fostering pilot tests within the private sector or through controlled tests in public facilities.
- Disseminating the benefits resulting from the use of new technologies in each agroecological region by encouraging the transmission of knowledge among producers or through public-access specialized dissemination seminars.
- Conducting pilot tests on the usage of new technologies subsidizing the adoption cost for the producer in order to tear down the cultural barriers to adoption with regard to the traditional production practices.

Course of action no. 3: Encouraging innovation and creation of infrastructure in Mexico

- Organizing seminars or awards revolving around the innovation or acceleration of new technologies in order to foster the research and development of said technologies in Mexico, with special emphasis on solving the idiosyncratic conditions of the country's productive regions.
- Facilitating the investment in infrastructure in Mexico by offering to share the risk and financing capital for development with the offerors.
- Creating public databases that enable the development of value-added services by providers whose size or condition is limiting, thereby allowing an even ground among providers of technology services.

Fostering the conditions for demand

Course of action no. 4: Investing in abilities and infrastructure to establish the necessary conditions for the adoption and development of new technologies in areas where said conditions are insufficient.

- Setting an agenda of digital inclusion and adoption of new technologies in the agricultural sector through the extension channels currently available in our country. Using the infrastructure and capacities of the public and private research and development centers of the country to consolidate them as technology transfer agents in each region: FIRA's Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT); Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), etc.
- Investing in basic connectivity infrastructure.

Course of action no. 5: Reducing the adoption threshold for new technologies

- Pairing the adoption of new technologies with other traditional measures to increase productivity, thus securing the benefits of adopting digital technologies.
- Encouraging the adoption of new technologies by having an additional impact on the reduction of production costs where new technologies are involved, or else by reducing the adoption cost.

Conditions of governance and regulation of new technologies

Course of action no. 6: Consolidating a climate of certainty for investors and users of new technologies by creating and implementing an adequate regulation that establishes the rights and responsibilities of adopters, particularly regarding the information that results from the constant monitoring of the production processes with the new technologies.

Course of action no. 7: Working on the creation of a governing research and development center that convenes the public, private, and academic sectors for the introduction of new technologies in order to facilitate the adoption of agriculture 4.0 in Mexico, particularly in the less developed regions of the country.

CONCLUSIONS

This research has offered a general view of the current situation of agriculture 4.0-related technologies in Mexico. Agriculture 4.0 is a recent concept in academia and is recognized as a new paradigm with regard to previous technological changes in agriculture.

The offer of providers corresponds to the nature of Mexican agriculture, inasmuch as it focuses on maize, wheat, and bean as the main crops for the adoption of technology. We also identified that the demand for these technologies is heterogenous among the country's regions; it depends on the type of crop, the regions' characteristics, the prizes of the products, and the natural barriers to access. Some ideal characteristics for the adoption of technologies are observed among the northern, northeastern, and western states: their production units are larger, they have a greater level of 3G and 4G connectivity and service coverage, their use of ICT and level of mechanization is higher, and the educational lag among their producers is lower.

For this reason, creating the necessary conditions for producers to adopt and continue developing digital agriculture is essential. According to our results, it is possible to present a general outline of public policy actions that, on the one hand, will expand the offer of technology services and, on the other, will foster their demand within a regulatory framework, so that all this may contribute to reduce the technology adoption gap between the different regions of the country.

REFERENCES

- Ayre, M., Mc Collum, V., Waters, W., Samson, P., Curro, A., Nettle, R., Paschen, J.-A., King, B., & Reichelt, N. (2019). Supporting and practising digital innovation with advisers in smart farming. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.05.001>
- Birner, R., Daum, T., & Pray, C. (2021). Who drives the digital revolution in agriculture? A review of supply side trends, players and challenges. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(4), 1260-1285. <https://doi.org/10.1002/acpp.13145>
- Chung, H. (2021). Adoption and Development of the Fourth Industrial Revolution Technology: Features and Determinants. *Sustainability*, 13(2), 871. <https://doi.org/10.3390/su13020871>
- Doshi, J., Patel, T., & Bharti, S. kumar. (2019). Smart Farming using IoT, a solution for optimally monitoring farming conditions. *Procedia Computer Science*, 160, 746-751. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.016>
- Encuesta Nacional Agropecuaria. (2019). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019. <https://www.inegi.org.mx/programas/cna/2019/>
- FAO. (2013). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (0 ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203142837>
- Jordan, V. (2010). Acelerando la revolución digital: Banda ancha para América Latina y el Caribe. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/35238>

- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (Eds.). (1972). *The Limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. Universe Books.
- National Research Council. (1998). *Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management* (p. 5491). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5491>
- Pivoto, D., Waquil, P. D., Talamini, E., Finocchio, C. P. S., Dalla Corte, V. F., & de Vargas Mores, G. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown.
- Spanaki, K., Karafili, E., & Despoudi, S. (2021). AI applications of data sharing in agriculture 4.0: A framework for role-based data access control. *International Journal of Information Management*, 59, 102350. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102350>
- Sunding, D., & Zilberman, D. (2001). Chapter 4 The agricultural innovation process: Research and technology adoption in a changing agricultural sector. En *Handbook of Agricultural Economics* (Vol. 1, pp. 207-261). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(01\)10007-1](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(01)10007-1)
- UNDP. (2022). *Technical notes of Development Report 2021-22: Uncertain Times (Unsettled Lives: Shaping our Future in a Transforming World)*.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2010). *Indicadores clave sobre TIC, 2010*.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>



CAPÍTULO 4: FACTORES QUE INCIDEN EN LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA DE REDUCCIÓN DE DOSIS DE NITRÓGENO: EL CASO DEL TRIGO EN EL VALLE DEL YAQUI

Factors influencing the adoption of modern nitrogen dose reduction technologies: the case of wheat in the Yaqui Valley

Elizondo-Flores, Jesús, A.¹; Valdivia-Alcalá, Ramón. ^{2*}; Cortés-Barrientos, José, A. ¹; Montes-Rivera, Fredy, Y. ¹; Hernández-Ortiz, Juan.²; Rojas-López, Sergio¹.

¹Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, Morelia, Michoacán, México, C.P.58342.

²Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México, C.P. 56230.

Sometido a Journal of Agricultural and Food Economics el 10 de septiembre de 2024

Abstract

Nitrogen dose reduction technologies have developed in efficiency, ease of use and precision however, once available to producers, the rate of adoption remains low. A sample of 336 wheat farmers in the Yaqui Valley that were exposed to the offer of such technologies for the 2022/2023 wheat cycle is analyzed to reveal the characteristics that are more significantly associated with the decision to adopt.

A complete characterization of farmers is built organized by socioeconomic profile, productive capacities and technical accompaniment available to them. Sample data collected at the end of the cycle shows that gender, schooling, extension of the cultivated land and type of land tenure emerge as significant discriminant factors associated to the decision of adoption. On the other hand, non-idiosyncratic factors such as the availability of technical accompaniment or previous exposure to the technology or a positive preconceived perception of its adaptability, usefulness and relevance are also significant. It is noteworthy that

these latter factors show similar discriminant power and impact on the probability of adoption than the less influenceable first factors.

The findings suggest that actions within the reach of organizations and authorities, such as establishing demonstration plots with the proposed technology or accompanying technological proposals with certified technical advisors, can induce a higher adoption rate.

Keywords: Technology adoption, Variable fertilization, Wheat, Yaqui Valley, Agricultural development, Digital Divide.

Introduction

The increasing risks faced by food production correspond to a structurally different climatic, territorial, and demographic reality compared to the past. The aging process of the rural population (FAO, 2017), an unequivocal reduction in the increase of available arable land (Ramankutty et al., 2018), and the more frequent manifestation of natural disasters as a result of rising global temperatures have resulted in a declining rate of agricultural productivity gains (Alexandratos and Bruinsma, 2012), which contrasts with the growing global population, particularly in developing countries.

In this context, new technologies known as Industry 4.0 (Schwab, 2017) impact positively various productive sectors, particularly the agri-food sector. However, it is noteworthy that access to the new technologies has not been widespread, and the conditions for accessing them are unequal (Mehrabi et al., 2021), whether due to indispensable factors for suppliers to expand them, or due to demand factors that limit adoption, such as educational, digital capabilities, or tradition and inertia in production methods (Elizondo et al., 2023).

The weight of this last barrier is complex to measure (Curry et al., 2021), as it appears simultaneously with other factors, making it impossible to clearly dimension its relative weight separately and consequently design the necessary efforts to overcome it.

To date, there is no consensus on a common determining factor in the adoption of Agriculture 4.0 technologies. This study aims to contribute to this gap in the literature by identifying factors for the adoption of such technologies through the study of the characteristics of wheat farmers in the Yaqui Valley during the Fall-Winter 2022/2023 cycle who were exposed to them.

The Yaqui River Basin covers part of the states of Sonora and Chihuahua in Mexico and a small part of the state of Arizona. Due to its favorable location in terms of water resources, the Yaqui Valley has been the subject of public-private investment and development since the early twentieth century, with the construction of water storage dams that currently supply approximately 230,000 hectares of cultivated land.

Its history of modernization and use of productive technologies is significant⁴⁴ (Cerutti, 2019) as it was the site that witnessed the rise of the Green Revolution in Mexico during the second half of the twentieth century, consisting of large-scale application of innovative mechanization technologies, new seeds and ample use of fertilizers, among other inputs. The legacy of technological advancement in production resulting from this revolution came with a high environmental impact. Agricultural activity in the Yaqui Valley is based on technological packages that consider a high use of chemical inputs that contribute to soil degradation, environmental pollution through nitrous oxide emissions, and nitrogen flows to the sea (Matson et al., 1998; Beman et al., 2005).

Although farmers in the Yaqui Valley have been pioneers in the use of precision agriculture tools, low nitrogen use efficiency is still reported at approximately 31% (Millar et al., 2018; CIMMYT, 2021).

The literature on efficient nitrogen use refers to tests and applications that occurred in that same valley in the first and second decades of the twentieth

⁴⁴ These initiatives led to an increase in the national average wheat yield in Mexico from 750 kg/ha prevailing before their inception to 5.2 tons per hectare in the 70s, currently reaching between 7 and 8 tons per hectare.

century (Ortiz et al., 2007; Ruan et al., 2005; Santillano et al., 2013; Crain et al., 2012). It describes the use of optical sensors that allow detecting the specific nitrogen needs of the plant and thus applying the appropriate dose of fertilizer. The results of the application of the technology have shown that it is possible to reduce nitrogen doses at a commercial level generating savings, without necessarily reducing wheat yields.

Despite the positive results of the technology and its widespread practice in the Yaqui Valley, its current use is scarce. Lapidus (2017) points to some impediments to its adoption, highlighting the dependence on donor resources to transfer the technology to farmers through advisors. On the other hand, it is common that when it comes to adopting input-saving technologies, incentives tend to interfere between input-supplying companies that provide credit, and farmer organizations.

Materials and methods

2.1 Context of the experiment

The concurrence of high fertilizer prices resulting from the beginning of the Russia-Ukraine war, in the fall-winter (F-W) 2022/2023 cycle, motivated the Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) to implement a support scheme to encourage the adoption of efficient fertilization practices.

FIRA absorbed 65% of the cost of the technological proposal corresponding to equipment rental, training and hiring of field advisors, diagnostic, recording in field logs, coordination of the application, supervision and validation of its use.

2.2 Proposed agricultural technology and practice

The first element inherent to the technology evaluated in this study was the diagnosis of the need for nitrogen by means of images taken by remote sensors integrated to drones. The images make it possible to estimate the quantity and quality of vegetation by measuring the intensity of radiation in the red and infrared bands of the electromagnetic spectrum emitted by the vegetation. The imaging

varies according to the desired resolution. Related to the choice of technology (Späti et al., 2021) have found that drones are more effective for fields with high spatial heterogeneity although not at any cost compared to other available alternatives, such as satellite imagery or handheld devices (e.g., green seeker). The second element consisted of more efficient fertilizer application practices that considered no nitrogen use prior to planting, then an application of a maximum of 100 units of nitrogen, buried and solid, in the first fertilization at the time of planting. Then, prior to the first irrigation, the crop was diagnosed by means of a multispectral image obtained by the drone. Based on the interpretation of the image taken, recommendations were generated for the dose of nitrogen required to cover the needs in the strongest stage of crop development. Finally, in a subset of farmers, a second crop diagnosis using the drone was proposed prior to the second irrigation to determine a possible additional nitrogen requirement in order to ensure the quality of the grain.

2.3 Target population and study sample

The Yaqui Valley is host of a universe of farmers with heterogeneous access to inputs and technologies for production. The current study focused on those farmers who use irrigation services, in order to establish a technological floor for wheat production capabilities. In this regard, the population of farmers for whom the Yaqui irrigation district issued permits in the F-W 22/23 cycle corresponds to 138,252 hectares of wheat managed by 11,073 irrigation users. In addition, the local ministry of agriculture (SAGARHPA) identified, in addition to irrigation users, 5,648 farmers who used irrigation permits in the F-W 22/23 cycle⁴⁵. Since the collection of information requires the estimation of various parameters, the most relevant of which is the proportion of farmers adopting the technology, a sample size was used to reach a confidence level of 95% and precision in the estimator of technology adoption of 3% for the population described resulting in sample size⁴⁶ of 321 farmers (Cochran,1977).

⁴⁵ Of which there are 2,717 exclusively in the Yaqui Valley.

⁴⁶ Sis estimated by the formula $n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}}$ where, t is the confidence interval of the estimator, d is

2.4 Technology promotion

In the first phase, the local association of farmer unions AOASS (Asociación de Organismos de Agricultores del Sur de Sonora) promoted the technological program to the representatives of each of the farmer unions that make up the association⁴⁷ and provided institutional support for its subsequent dissemination to the respective farmers. In the second phase, the representatives of each association disseminated the technology and FIRA's institutional support to the farmers of their respective union. Finally, AOASS held a meeting in each of the respective premises to further explain the technology, its benefits, the work plan and the respective cost reduction support.

2.5 Data collection

The data collection was guided by best practices related to studies on the adoption of new technologies in various crops and geographies around the world. Noteworthy in this category are the meta-analyses by Mwangi and Kariuki (2015) and Ruzzante et al. (2021), which synthesize a wide array of studies on farmer's decisions to adopt new technologies. These studies point to groups of characteristics such as: i) exposure of the farmer to the technology, ii) economic-productive characteristics of the farmers, iii) institutional support elements for the application of the technology and iv) socioeconomic profile of the farmer's household. With this in mind, a survey was designed that considered these dimensions and was applied at the end of the 2022-2023 fall-winter agricultural cycle to a sample of 336 farmers that were exposed to the initial offer of technology.

2.6 Diagnostic method

the degree of precision of the estimator, and p is the estimation of the proportion. $n_0 = \frac{t^2 p*(1-p)}{d^2}$

⁴⁷ Asociación de Agricultores del Valle del Yaqui, Unión de Crédito Agrícola del Yaqui, S.A. de C.V., Unión de Crédito Agrícola de Cajeme, S.A. de C.V., Unión de Crédito Agropecuario e Industrial del Valle del Yaqui, S.A. de C.V., Unión de Crédito Agrícola del Mayo, S.A. de C.V., Asociación de Productores de Navjoa S.A. de C.V., Unión de Crédito Agrícola de Huatabampo, S.A. de C.V.

A random utility model (Ben-Akiva et al., 1985) was used to determine the probability that a wheat farmer would decide to adopt the described technology. The model is defined as:

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}, \quad i = 1, \dots, I \wedge n = 1, \dots, N \quad (1)$$

where U_{in} is the expected utility of alternative i for farmer n , V_{in} is the deterministic component of the utility and ε_{in} is the random component. In the hypothetical case that V_{in} contains perfect information about the determinants of utility, the farmer would choose the highest alternative. Therefore, the probability that farmer n chooses alternative i over alternative j is:

$$\begin{aligned} P_{ij}(i) &= \Pr(U_{in} \geq U_{jn}) \\ &= \Pr(V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}) \\ &= \Pr(\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in} \leq V_{in} - V_{jn}), \quad \text{for all } i, j \in C_n \end{aligned} \quad (2)$$

C_n

where C_n is the set of options for farmer n , which in the present case is considered as $[C_n = \{i, j\} = \{Adopt, Not\ adopt\}]$.

Equation (1) assumes that the random errors are independently and identically distributed across the I alternatives and N individuals ($n = 1, \dots, N$) and follow an extreme value distribution meaning $\varepsilon_n = \varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}$ in equation (2) is logistically distributed. The probability of choosing i is obtained by integrating equation (2) over a continuum of all possible values for ε_n . Thus, the probability that farmer n chooses alternative i is given by:

$$P_n(i) = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu V_{jn}}}, \quad (3)$$

where μ is a positive scale parameter, $\mu > 0$. The choice probability model with two probability options ($i = 1$ y $j = 0$) has a more succinct expression as follows:

$$\begin{aligned}
 P_n(i = 1) &= \frac{e^{\mu V_{in}}}{e^{\mu V_{in}} + e^{\mu V_{jn}}} \\
 &= \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_{in} - V_{jn})}} \\
 &= \frac{1}{1 + e^{\mu \beta' x_{jn}}}
 \end{aligned} \tag{4}$$

where β' is the vector of parameters to be estimated.

Results and discussion

The results are grouped according to farmer characteristics as follows: i) socioeconomic profile, ii) economic-productive characteristics and iii) knowledge and previous exposure to technology.

3.1 Socioeconomic profile

Adoption rates show significant differences according to gender and schooling level. The odds ratio⁴⁸ presented in Table 1 show that adoption is 16.7 times less likely for a female than for a male and 3.4 and 3.9 times less likely with basic and secondary schooling, respectively, when compared to higher schooling.

⁴⁸ The odds ratio is the ratio of two odds: Odds (Adopters) to the Odds (Non-Adopters). $\psi = \frac{\frac{a}{b}}{\frac{c}{d}} = \frac{ad}{bc}$

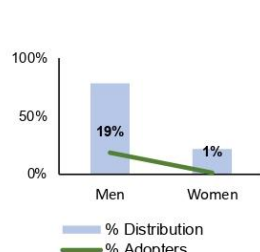


Fig. 1. Farmers by gender

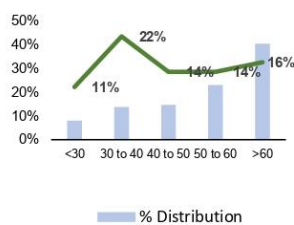


Fig. 2. Farmers by age

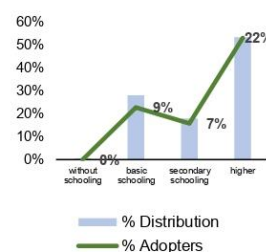


Fig. 3. Farmers schooling grade

Regarding women's participation, the finding is consistent with some similar studies such as Ndiritu et al. (2014) which noted that women farmers in Kenya are less likely to adopt intensified farming practices such as minimum tillage and use of animal fertilizer. However, it should be noted that the present study highlights structural differences in the economic-productive characteristics of men and women, since female have on average smaller landholdings (34 hectares) compared to men (79 hectares), in addition to the fact that land tenure is their own in 28% of cases compared to 50% in the case of men. These facts are interpreted as proxies for other potential explanatory factors in the low adoption rate shown by women.

Table 1. Socioeconomic characteristics

Variable	Operationalization	Adopter	Non - ado pter	Odds Ratio (OR)	Reciprocal ¹	Average marginal effect ²
		(a)	(b)	$\frac{a}{b}$	$\frac{1}{\frac{a}{b}}$	
		(c)	(d)	$\frac{c}{d}$	OR	

Dependent variable: Optimal fertilization (1: Adopter, 0: Non-adopter)

Independent variables in univariate models:

(i) Socio-economic characteristics

Gender	1: Female	1	72	0.057***	16.7	-17.30%
--------	-----------	---	----	----------	------	---------

	0: Men (<i>Ref.</i>)	49	214			
Age	1: <30 years (<i>Ref.</i>)	3	26			
	2: 30 to 40 years old	7	31	1.957		-0.04% ³
	3: 40 to 50 years old	6	44	1.182		
	4: 50 to 60 years old	11	60	1.589		
	5: ≥ 60	23	125	1.595		
Schooling	0: No studies	0	2			
	1: Basic	7	86	0.294***	3.4	2.70% ³
	2: Secondary	4	57	0.247**	3.9	
	3: Higher (<i>Ref.</i>)	39	141			

***p-value<0.01; ** p-value<0.05; *p-value<0.10

1/ When the odds ratio is less than 1, the reciprocal is interpreted

2/ Change in the probability of adoption considering all other variables in their average value. In this case, they are univariate models, so the interpretation is direct.

3/ The respective variable is considered in discrete form and not separated in classes for the marginal effect calculation.

According to Ruzzante et al. (2021) farmer education is positively correlated with adoption motivation. Similarly, Feder et al. (1985) conclude that "the most educated farmers are the first to adopt modern technologies". On the other hand, Knight et al. (2003) find that schooling positively influences the adoption of modern inputs both directly and indirectly, through a reduction in risk aversion. These results reinforce current findings in the context of the Yaqui valley wheat producers.

3.2 Economic-productive characteristics

The size of the plot is one of the variables with the greatest theoretical and practical support with respect to its importance in terms of the decision to adopt new technologies. This hypothesis has been identified by Feder et al. (1985) and is generally linked to a proxy role for other potentially determining factors, such as the ability to withstand greater risks, access to essential inputs, information on technologies, access to specialized labor, among others.

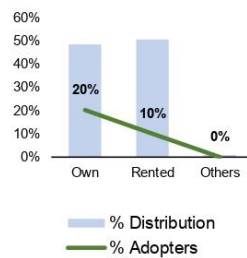


Fig.4. Farmers by land tenure

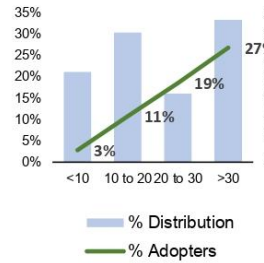


Fig. 5. Farmers by plot size (ha)

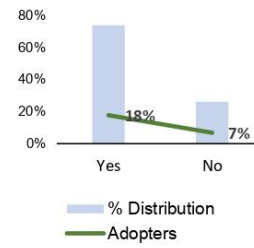


Fig. 6. Farmers with technical advisor during previous productive activities

Although it is common to elaborate on the "scale neutrality" of technologies, i.e., that technologies are of equal benefit to small and large-scale farmers, data from the sample revealed that plot size was critical in explaining adoption in favor of farmers with larger size of land. There also seems to be a trade-off between scale and form of access to land, since, farmers that commonly lease land to third parties as a way to increase scale and thus make technology adoption attractive, in this sample, renting land decreases the propensity to adoption. This behavior seems to be associated with the idea that "the returns to investment for the use of these technologies are lower as time horizon of the exploitation of a given area is shortened" (Lachman et al., 2022), due to the high turnover that can occur on rented land. The first studies regarding this association were carried out in the context of the green revolution, for example, Vyas (1975) found that the form of land tenure did not significant influence adoption of technologies and, rather, as these technologies showed their potential, they were gradually adopted by all farmers. However, with the emergence of new and more diverse technologies, the phenomenon was further explored and farmers with owned land were found to more often adopt those technologies with higher costs (e.g., stone terraces in Ethiopia; Gebremedhin and Swinton, 2003) or with positive medium and long-term sustainable effects on land (e.g., natural resource management technologies, especially prevention of soil erosion; Ruzzante et al., (2021). It is worth mentioning that the technology addressed in the present study has positive effects on cost reduction in the short term and also generates medium- and long-term

environmental benefits by making less intensive use of nitrogen and mitigate soil erosion.

Table 2. Economic and productive characteristics

Variable	Operationalization	Adopter	Non-adopter	Odds Ratio (OR)	Reciprocal ¹	Average marginal effect
		(a)	(b)	$\frac{a}{b}$	$\frac{1}{OR}$	
		(c)	(d)	$\frac{c}{d}$	OR	
<i>ii) Productive economic characteristics</i>						
Land tenure	1: Own	33	130	2.285**		10.2%
	0: Rented (Ref.)+	17	153			
Production Form	1: Individual	25	204	0.397***	2.5	-12.7%
	2: Legal entity (Ref.)	25	81			
Plot size (ha)	1: <20 ha	4	114	0.131***	7.6	-17.7%
	0: ≥ 20 ha (Ref.)	46	172			
Access to credit	1: Yes	48	256	2.813		9.5%
	0: No	2	30			
Technical Advisor ²	1: Yes	44	204	2.948**		10.9%
	0: No (Ref.)	6	82			
Wheat yield (ton/ha)		50	284	1.776***		7.1%
% of total income from wheat		50	284	1.005		0.1%

*** p-value<0.01; ** p-value<0.05; *p-value<0.10

1/ When the odds ratio is less than 1, the reciprocal is interpreted

2/ Farmers that declared availability of technical advisory during previous productive activity

Adoption is less likely when farmer's production is carried out without the support of technical advisors or when the farmer is not established as a legal entity. These findings suggest the presence of "network effects", where interactions with other actors could be enhancing the adoption of these technologies, which are not necessarily easily assimilated independently and autonomously by farmers. This

highlights the crucial role of external information sources and peer influence in the diffusion and adoption process of these and other technologies, as emphasized by Lachman et al. (2022).

3.3 Prior knowledge of the technology

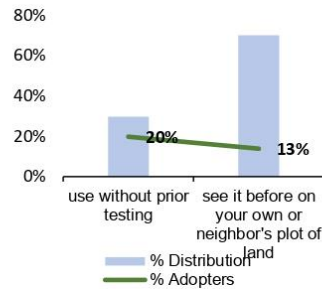


Fig. 7. Farmers according to previous results

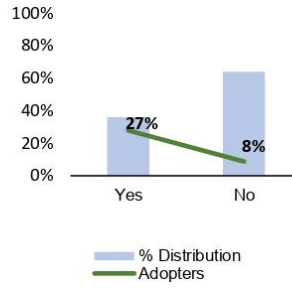


Fig. 8. farmers who find technology useful

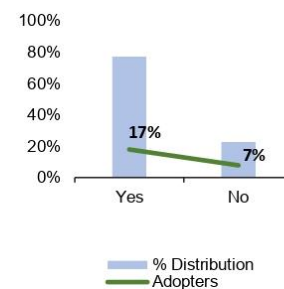


Fig. 9. Farmers that the technology adapts to their needs

The farmer's prior knowledge of the technology, as well as the farmer's revealed perceptions regarding its positive adaptability, usefulness, and relevance, make them more likely to adopt it.

Table 3. Characteristics of prior knowledge of technology

Variable	Operationalization	Adopter	Non-adopter	Odds Ratio (OR)	Reciprocal ¹	Average Marginal Effect
		(a)	(b)	$\frac{a}{b}$	$\frac{1}{\frac{a}{b}}$	
		(c)	(d)	$\frac{c}{d}$	OR	
<i>(iii) Prior knowledge of the technology</i>						
Complexity	1: Yes	4	40	0.535	1.87	-6.7%
	0: No	46	246			
Useful	1: Yes	32	88	4.000***		18%
	0: No	18	198			
Relevance	1: Yes	46	233	2.616*		9.5%
	0: No	4	53			
Adaptation	1: Yes	45	215	2.972**		10.7%

	0: No	5	71			
Pre-application	1: Yes	15	19	5.030***		30.6%
	0: No	35	223			
Previous results	1: Yes	19	48	3.039***		16.8%
	0: No	31	238			
Test	0: No test	20	81	0.593*	1.69	-7.0%
	1: With test	30	205			

*** p-value<0.01; ** p-value<0.05; *p-value<0.10

1/ When the odds ratio is less than 1, the reciprocal is interpreted

Note:

Complexity: The farmer considers the technology difficult to understand or apply.

Useful: The farmer considers the technology useful before the F-W 22/23 cycle.

Relevance: The farmer considers that the technology for nitrogen dose reduction is relevant.

Adaptation: The farmer perceives that the technology is adapted to his needs.

Pre-application: The farmer has previously tested the technology.

Previous results: The farmer has seen results in neighboring plots.

3.4 Joint impact assessment

The proportion of farmers that used the nitrogen dose reduction technology in the sample is 14.8%. In order to jointly test the effects that significantly explain this behavior, the various groups of variables were tested simultaneously therefore enhancing their precision and the nature of their statistical significance reducing the possibility of error in the interpretation of individual parameters. The estimates of all parameters revealed an association consistent with the direction suggested by the individual analysis.

Table 4. Parameter Estimates and Marginal Effects of the multiple variable Logit Model

Dependent variable: Adoption of nitrogen dose reduction technology				
Independent variables		Estimation (standard error)	Wald x2	Average marginal effects
<i>(i) Socio-economic characteristics</i>				
Gender***	Female	-2.740	-2.6	-16.18%
	Men (ref)	(1.042)		

		-0.008 (0.013)	-0.6	-0.08%
Age				
		0.160 (0.070)	2.3	1.52%
Schooling**				
<i>ii) Productive economic characteristics</i>				
Land Tenure*	Rented (ref)	0.644 (0.389)	1.6	6.12%
	Own			
Production Form	Legal entity (ref)	-0.424 (0.377)	-1.1	-3.26%
	Individual			
Plot size (ha)**	>20ha (ref)	-1.399 (0.595)	-2.4	-11.36%
	<20ha			
Access to Credit	No (ref)	1.215 (0.860)	1.4	9.24%
	Yes			
Technical Advisor*	No (ref)	0.954 (0.499)	1.9	8.24%
	Yes			
		0.548 (0.234)	2.3	5.24%
Wheat yield (ton/ha) **				
		0.020 (0.009)	1.89	0.19%
% Wheat of total productive plots**				
<i>(iii) Prior knowledge of the technology</i>				
	No (ref)	1.299 (0.406)	3.2	14.52%
	Yes			
Previous results***				
		-11.092 (2.713)	-4.1	
Const.				

- ***p-value<0.01; **p-value<0.05; *p-value<0.10
 - The reference class for the estimation of the respective parameter is highlighted in parentheses (ref).
 - Number of observations = 329. Likelihood ratio test: -100.730. McFaden R^2 = 0.281. ROC = 0.855.
 - The variables Age and Education are treated as discrete numerical variables.
 - The marginal effect indicates the change in the expected probability of adopting the technology for a unit change in an explanatory variable.
 - Technical advisor: Farmers with declared availability of technical advisor during previous productive activities

The estimates of all parameters used in the model revealed their expected signs (Table 4). They also confirmed statistical significance with respect to their univariate counterparts⁴⁹.

In general, farmer's characteristics show, through their respective parameters, lower impact on the probability of adoption if they are considered jointly. For instance, schooling shows that a greater number of years of education increases the probability of adoption by 1.52% for each additional year of schooling and not by 2.70% as suggested when considered individually. However, of greater relevance is the comparison of marginal effects for impact variables, in particular those that are of a non-idiosyncratic nature. Noteworthy is the fact that having previous exposure to the new technology in a neighboring plot increases the probability of adoption in 14.5% while, for example, a smaller plot size reduces it by only 11.4%. In this way, small farmers previously exposed to the new technology can be compensated for other limiting characteristics and enhanced on their probability of adoption. A similar result is obtained if a technical advisor is present to support the farmer in the normal course of his activities.

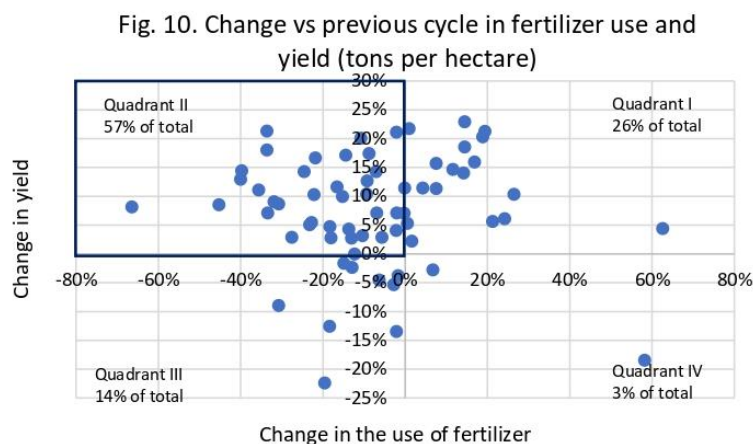
3.5 Effectiveness of the technology

Figure 10 illustrates the changes with respect to the previous cycle in terms of fertilizer use and in terms of crop production (tons per hectare). As for the fertilizer, various nitrogen molecules were used, such as urea (67%), ammonia (23.3%) and phosphonitrate (2.9%), among others⁵⁰.

As can be seen, the majority (57%) of adoptive farmers are in quadrant (II), which simultaneously shows an increase in yield and a decrease in fertilizer use. On average, within this quadrant there is a 20% lower use of fertilizer and a 10% higher yield compared to the previous cycle.

⁴⁹ Except for the variable form of production (natural person vs. legal entity). This can be explained due to joint effects of variables "plot size" and "land tenure" which have parallel meaning and remain significant respectively.

⁵⁰ Ammonium sulfate, YaraMila, UAN 32, NitroGN, Nitromag, Nitroperfecto were used.



Likewise, the evaluation of field results shows that wheat production is more profitable with the technology tested in this study with respect to the traditional technology. If we consider the Benefit/Cost ratio for the farmer as proposed in Table 5, we conclude that the farmer increases revenues as compared to costs from 1.055 to 1.149, even considering the additional cost for the crop diagnosis with drone and field advisory and consulting services. This is due to the fact that the technology allowed reducing on average the cost of the crop by saving fertilizer, in addition to increasing, on average, wheat yield.

Table 5. Profitability of wheat cultivation through traditional technology and Optimal Fertilization

Concept	Traditional technology	Nitrogen dose reduction technology without Support	Nitrogen dose reduction technology with support
Total Cost \$ per ha	36,938.00	36,418.05	35,764.00
1. Cost per ha:	36,938.00	35,502.05	35,502.05
(of which Fertilization)	15,747.00	14,311.05	14,311.05
2. Drone/ha	-	153.50	30.70
3. Advice/ha	-	500.00	100.00
4. Consultancy/ha	-	262.50	131.25
Income \$ /ha	38,967.50	41,834.20	41,834.20
-Yield tn/ha	7.15	7.68	7.68
-Price / tn	5,450.00	5,450.00	5,450.00

<u>B/C ratio</u>	1.055	1.149	1.170
------------------	--------------	--------------	--------------

1/ Traditional technology: Cost of cultivation (www.FIRA.gob.mx)

Price: Price per ton of crystalline wheat during harvest at the end of May/2023 (310 dis/tn)

Conclusions

The promotion of the use of new technologies among farmers is a high-impact instrument in public policy of rural development. This is so because new technologies generally bring with them better development conditions for farmers, higher production volumes and a more efficient use of inputs for the benefit of both the population and the environment.

However, the adoption decision and the consequent risk is borne by the farmer, so despite the apparent ex-ante benefits of new technologies, there are some factors characteristic of farmers that make them less likely to adopt new technologies.

It can be deduced from the findings that the rate of adoption remained low at 14.8% but on the other hand with some additional actions from the promoters of new technologies, a higher adoption rate can be induced. These actions may be extending invitations to associations of farmers and individual farmers to appreciate the benefits of the technologies in demonstration plots where the positive effects, advantages and disadvantages of the technologies can be observed and questioned. Similarly, accompanying the technological proposals with assistance by technical advisors certified in the knowledge and use of the new technology allow the farmer to make effective use of it and thus fill some of the profiling gaps detected in the study.

This technology represents only one case among many applications of technology with the potential to improve productivity and income generation for farmers. It is advised to expand the scope of this study to other regions and technologies to test comprehensively the most effective methods to reduce potential barriers to the modernization of agricultural production.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge Dr. Víctor Villalobos Arámbula, Álvaro R. Bours Cabrera and Anel Cruz Betanzos, for their comments, corrections and support for the preparation of this research.

References

- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). *World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision*.
- Beman, J., Arrigo, K., & Matson, P. (2005). Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature*, 434, 211–214. . doi:<https://doi.org/10.1038/nature03370>
- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Cerutti, M. (2019). *Trigo y revolución verde en el noroeste de México (1930-1970)* (Vol. 20). Mundo agrario. doi:<https://doi.org/10.24215/15155994e103>
- CIMMYT. (2021). *Los beneficios de eliminar las aplicaciones de nitrógeno durante la resiembra*. Obtenido de Divulgación-CIMMYT: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/los-beneficios-de-eliminar-las-aplicaciones-de-nitrogeno-durante-la-presiembra/>
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques*. John Wiley & Sons.
- Crain, J., Ortiz-Monasterio, I., & Raun, B. (2012). Evaluation of a reduced cost active NDVI sensor for crop nutrient management. *Journal of Sensors*. doi:<https://doi.org/10.1155/2012/582028>
- Curry, G. N., Nake, S., Koczberski, G., Oswald, M., Rafflegeau, S., Lummani, J., & Nailina, R. (2021). Disruptive innovation in agriculture: Socio-cultural factors in technology adoption in the developing world. *Journal of Rural Studies*(88), 422-431. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.022>

- Elizondo Flores, J. A., Montes-Rivera, F. Y., Valdivia-Alcalá, R., & Cruz-Betanzos, A. (2023). Agriculture 4.0: Is Mexico Ready? *Agro Productividad*. doi:<https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2495>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Food and Agriculture.
- Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33(2), 255-298.
- Gebremedhin, B., & Swinton, S. (2003). Investment in Soil Conservation in Northern Ethiopia: The Role of Land Tenure Scurity and Public Programs. *Agricultural Economics*, 29, 69-84. doi:10.1111/j.1574-0862.2003.tb00148.x.
- Knight, J., Weir, S., & Woldehanna, T. (2003). The role of education in facilitating risk-taking and innovation in agriculture. *The Journal of Development Studies*, 39, 1-22. doi:<https://doi.org/10.1080/00220380312331293567>.
- Lachman, J., Gómez-Roca, S., & López, A. (2022). Adopción de tecnologías de agricultura de precisión en los grupos CREA. *Serie Documentos de Trabajo del IIEP*(79), 1-43. doi:<https://ojs.econ.uba.ar/index.php/DT-IIEP/issue/view/427>
- Lapidus, D., Latane, A., Beach, R. H., & Ortiz-Monasterio, I. (2017). The green seeker Handheld. *RTI Press*.
- Matson, P. A., Naylor, R., & Ortiz-Monasterio. (1998). Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. *Science*. doi:10.1126/science.280.5360.112
- Mehrabi, Z., McDowell, M. J., Ricciardi, V., Levers, C., Martinez, J. D., Mehrabi, N., . . . Jarvis, A. (2021). The global divide in data-driven farming. *Nature Sustainability*, 154-160. doi:<https://doi.org/10.1038/s41893-020-00631-0>

- Millar, N., Urrea, A., Kahmark, K., Shcherbak, I., Robertson, G., & Ortiz, I. (2018). Nitrous oxide (N₂O) flux responds exponentially to nitrogen fertilizer in irrigated wheat in the Yaqui Valley, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 261, 125-132. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.003>.
- Mwangi, M., & Kariuki, S. (2015). Factors Determining Adoption of New Agricultural Technology by Smallholder Farmers in Developing Countries. *Journal of economics and sustainable development*, 6(5), 208-216.
- Ndiritu, S., Kassie, M., & Shiferaw, B. (2014). Are there systematic gender differences in the adoption of sustainable agricultural intensification practices? Evidence from Kenya. *Food Policy*, 49 (1), 117-127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.06.010>.
- Ortiz, I., & Raun, W. (2007). Reduced nitrogen and improved farm income for irrigated spring wheat in the Yaqui Valley, Mexico, using sensor based nitrogen management. *Journal of Agricultural Science*, 145, 215–222. doi:[doi:10.1017/S0021859607006995](https://doi.org/10.1017/S0021859607006995).
- Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M., & Rieseberg, L. H. (2018). Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annual Review of Plant Biology*, 69, 789-815. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040256>
- Ruan, W., Solie, J., Stone, M., Martin, K., Freeman, K., Mullen, R., . . . Johnson, G. (2005). Optical Sensor-Based Algorithm for Crop Nitrogen Fertilization. *Communications In Soil Science and Plant Analysis*, 36(19-20), 2759-2781. doi: 10.1080/00103620500303988.
- Ruzzante, S., Labarta, R., & Bilton, A. (2021). Adoption of agricultural technology in the developing world: A meta-analysis of the empirical literature. *World Development*, 146, 107384. doi:<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105599>.

- Santillano, J., Lopez, Á., Ortiz, I., & Raun, W. (2013). Use of Optical Sensor Technology for the Fertilization of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Tierra Latinoamericana*, 31, 95-103.
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. New York: Crown Publishing Group.
- Späti, K., Huber, R., & Finger, R. (2021). Benefits of Increasing Information Accuracy in Variable Rate Technologies. *Ecological Economics*, 185, 107047. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107047>
- Vyas, V. (1975). India's high yielding varieties programme in wheat 1966-67 to 1971-72. *CIMMYT Studies in the Adoption of New Agricultural Technology*. VIII, 28.

CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES Y RUTA HACIA ADELANTE

El cambio tecnológico invariablemente ha generado un incremento en la productividad de la tierra haciendo posible un uso más eficiente de los recursos escasos. Sin embargo, de manera repetida en la historia de la sociedad se han observado episodios en los cuales se generó una separación en las capacidades de producción de sus integrantes⁵¹.

El siglo XXI presenta las condiciones más retadoras para que el cambio tecnológico sea más equitativo en términos de acceso entre los agentes sociales del campo.

Esto es así en virtud de que el soporte de la revolución tecnológica actual se relaciona con el acceso a recursos de infraestructura diversa, ya sea internet de alta velocidad o por ejemplo un suministro de electricidad confiable los cuales se caracterizan por una menor oferta en el medio rural. Existen también costos mínimos para detonar su potencial como es la adquisición de drones, sensores y maquinaria automatizada, que resultan incosteables al pequeño productor.

Por el otro lado, existe un componente de habilidades y conocimiento para una adopción efectiva de las tecnologías agrícolas avanzadas. Resulta natural que los agricultores con acceso a educación y capacitación continua se encuentren en una mejor posición para utilizar estas tecnologías.

De misma forma, las economías de escala juegan también un papel discriminante en virtud de que los grandes productores pueden beneficiarse más de

⁵¹ En el siglo XVIII inició una etapa de producción industrial de arados con el sistema de arado Rotherham el cual, por su forma triangular y componentes de metal, eran propicios para la operación con caballos lo que aceleraba las prácticas de preparación de la tierra. Ante la innovación, se registró un aumento en la productividad de la tierra, pero también dio paso a la consolidación del poder económico de grandes terratenientes. Un mismo resultado se obtuvo en el siglo XIX ante el progreso resultante de la revolución industrial con la invención de maquinaria agrícola como la segadora McCormick y el arado de acero de John Deere. Paralelamente, la revolución verde en el siglo XX introdujo variedades de alto rendimiento de cultivos, fertilizantes químicos, pesticidas y sistemas de riego avanzados en las décadas de 1960 y 1970 y benefició mayormente a los grandes agricultores con acceso a recursos financieros y técnicos, ampliando así la brecha de productividad.

tecnologías de la generación 4.0 porque requieren un alto volumen de datos y diagnóstico de casos para potenciar las capacidades de la inteligencia artificial. Con el fin de establecer mejores condiciones para la adopción de tecnologías y un desarrollo más equilibrado de los productores del campo mexicano se trazan a continuación algunas recomendaciones de acción resultantes del diagnóstico y estudio presentado en los capítulos anteriores.

Recomendaciones para el desarrollo de un ecosistema sano e igualitario de tecnologías 4.0 en México

Entender el estado actual de desarrollo de las tecnologías y los factores que limitan la adopción de nuevas tecnologías en el país, es el primer paso obligado para el desarrollo de mejores políticas para extender su uso. De esta forma se presentan acciones organizadas en tres componentes. i) Aliento a la oferta de servicios tecnológicos, ii) aliento a la demanda para la adopción de tecnología y, iii) factores transversales para el desarrollo sano del ecosistema tecnológico.

Cuadro 3. Recomendaciones de acción para abatir el rezago tecnológico en el campo
Fomento a condiciones de oferta

Diagnóstico 1 Existen barreras de acceso en la provisión de servicios de tecnología de agricultura 4.0.	<i>Línea de acción 1.1:</i> Promover alianzas público-privadas en las cuales las entidades públicas centralicen y ordenen información relevante de potenciales usuarios de servicios de tecnología y hacerla disponible al sector privado a cambio de beneficios para los productores interesados.
	<i>Línea de acción 1.2.</i> Adherir servicios de tecnología a programas de fomento actualmente en marcha (e.g. sembrando vida, fertilizantes del bienestar, etc.) con costo compartido entre el proveedor de tecnología y el gobierno para enriquecer la oferta de valor a productores y extender el conocimiento y beneficio de las nuevas tecnologías de forma tangible.
	<i>Línea de acción 1.3.</i> Establecer una agenda de foros nacionales y regionales con facilitadores diversos (e.g. embajadas tales como Argentina, Holanda, Israel, E.U. que

	cuentan con programas de esta índole), donde se encuentren proveedores de tecnología nacionales y extranjeros y productores con potencial beneficio para ambos.
	<i>Línea de acción 1.4.</i> Adherir a los servicios financieros, información de tecnologías relevantes para la cadena de valor asegurada o financiada, así como los contactos de los proveedores de tecnología. Reducir el costo de los servicios financieros correspondientes a los adoptantes de tecnología en la medida en que la misma potencialmente pueda representar un menor perfil de riesgo del productor.
	<i>Línea de acción 1.5.</i> Crear puntos de convergencia digitales (e.g. market place) en el cual los oferentes de servicios de tecnología puedan acceder a la cartera de suscriptores previamente inducidos por entidades del Gobierno tales como FIRA, Agroasemex o SADER (beneficiarios de programas).
Diagnóstico 2 Existe insuficiente difusión tanto teórica como práctica de las nuevas tecnologías disponibles a los productores así como de	<i>Línea de acción 2.1:</i> Estimular el conocimiento de la oferta de nuevas tecnologías al generar reportes de información de acceso público de los proveedores de servicios y

su efectividad en condiciones climatológicas y de desarrollo locales.	actualizar periódicamente los mismos para que funjan como un radar de nuevas tecnologías en el país.
	<i>Línea de acción 2.2:</i> Establecimiento de parcelas demostrativas con los cultivos relevantes por región agroecológica del país que permitan validar los beneficios de las nuevas tecnologías ya sea estimulando pruebas piloto con el sector privado o a través de ejercicios controlados en instalaciones públicas. Una vez validadas potenciar la difusión a los productores.
	<i>Línea de acción 2.3.</i> Identificar productores que conozcan las nuevas tecnologías e involucrar al mismo en difundir los beneficios de estas por región agroecológica estimulando la transmisión de conocimiento de productor a productor. Esto se puede lograr elaborando las metodologías de transmisión de conocimiento y otorgando incentivos a los productores por mostrar su uso.
Diagnóstico 3 Se identifican dificultades para que los proveedores de tecnología innovadores de pequeña escala alcancen a la población objetivo por lo que enfrentan la	<i>Línea de acción 3.1:</i> Estimular la innovación al convocar desde el sector público mecanismos de aceleración de nuevas tecnologías que fomenten la investigación y desarrollo. Acompañar el estímulo con recursos de

falta de economías de escala para crecer sus emprendimientos. Esto tiende a concentrar la oferta en proveedores ya consolidados (e.g. proveedores de insumos, maquinaria, software de gran escala, etc.).	capitalización de las pequeñas empresas proveedoras y subsidio por el uso de sus tecnologías a pequeños productores.
	<i>Línea de acción 3.2:</i> Facilitar la inversión de infraestructura tecnológica en México ofreciendo compartir capital de riesgo y financiamiento a los oferentes. Dedicar fondos de capital de riesgo a los emprendimientos y atraer capital al sector.
	<i>Línea de acción 3.3:</i> Construir bases públicas de datos de gran volumen para el desarrollo de herramientas de valor agregado (e.g. algoritmos de IA) que permitan dar escala a los proveedores de tecnología cuyo tamaño o condición es limitante con lo cual se permita emparejar el piso entre pequeños y grandes oferentes de servicios de tecnología.

Fomento a condiciones de demanda

Diagnóstico 4 Se mostró evidencia de heterogeneidad de condiciones mínimas para la adopción de nuevas tecnologías en el país por lo que se presenta un escenario que requiere ampliación de educación digital, infraestructura de conectividad y mecanización entre otros.	<i>Línea de acción 4.1:</i> Generar una red de conocimiento y “extensionistas digitales”⁵² cuyo objetivo principal sea mejorar la productividad agrícola, la mitigación de riesgos inherentes a las actividades productivas, la sostenibilidad y el bienestar económico de los agricultores a través de la adopción y uso eficiente de tecnologías avanzadas. La formación de esta red tendría como objetivo que existan condiciones necesarias en materia de conocimiento de manejo y uso de la oferta tecnológica en zonas donde las condiciones para su desarrollo no son las suficientes.
	<i>Línea de acción 4.2:</i> Potenciar la infraestructura y capacidad de los centros de investigación y desarrollo público y privados que existen en el país para consolidarlos como agentes de transferencia tecnológica en cada región: Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT's) de FIRA, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), etc. Para ello es necesario ampliar capacidades y establecer una clara agenda de potenciación de nuevas tecnologías.

⁵² Un **extensionista digital** puede ser definido como un profesional que utiliza tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para proporcionar servicios de extensión agrícola, que incluyen la difusión de conocimientos, la capacitación y el apoyo técnico a los agricultores.

	<i>Línea de acción 4.3:</i> Ampliar la cobertura de 3G y 4G al trabajar en colaboración con empresas de telecomunicaciones para extender la cobertura en áreas rurales, asegurando que más productores agrícolas tengan acceso a internet de alta velocidad y con ello condiciones mínimas para representar demanda efectiva de nuevas tecnologías. Establecer puntos de acceso a internet vía satelital en comunidades rurales por ejemplo en centros comunitarios equipados con equipo de computación mínimo suficiente para que los agricultores puedan familiarizarse y hacer uso de las nuevas tecnologías.
Diagnóstico 5 A pesar de que nos encontramos en el umbral del uso de nuevas tecnologías congruentes con industria 4.0 existen aún el reto de la mecanización de un amplio segmento del campo como condición necesaria para potenciar el uso de las nuevas tecnologías.	<i>Línea de acción 5:</i> Realizar un diagnóstico de las tecnologías de producción en el país y desarrollar un plan ordenado que sienta las bases y ruta crítica para acceder a las tecnologías de última generación. Una vez realizado, apoyar con subsidio y financiamiento la evolución tecnológica en orden y al ritmo requerido por los productores priorizando que las inversiones vengas acompañadas de elementos tecnológicos de la revolución 4.0.
Diagnóstico 6 Aunque las condiciones para que las tecnologías de última generación se encuentren disponibles aún resta por	<i>Línea de acción 6.1.</i> Desarrollar un plan de acompañamiento técnico y demostración de tecnologías al establecer parcelas demostrativas. Dedicar presupuesto a la validación y adaptación local de las nuevas tecnologías y

superar la barrera cultural de adopción que como se pudo apreciar en el capítulo 4 es relevante.	hacerlo de forma pública de tal forma que se muestren los beneficios de manera práctica y tangible a los agricultores o alternatively sus carencias o falta de adaptabilidad. Divulgar los resultados enfatizando casos de éxito a través de medios de comunicación o asociaciones locales.
	<i>Línea de acción 6.2.</i> Invertir en el asesoramiento técnico continuo a los agricultores adoptantes de alguna nueva tecnología para ayudarlos a implementar y optimizar el uso de nuevas tecnologías.
	<i>Línea de acción 6.3:</i> Estimular la adopción de nuevas tecnologías incidiendo de manera directa en subsidio parcial a la demanda, reduciendo así las barreras de costo ex ante adicional comúnmente asociadas a esta etapa y no sumarmas a las barreras culturales descritas anteriormente.
	<i>Línea de acción 6.4:</i> Reducir el costo de incertidumbre en el uso de las tecnologías al diseñar productos de mitigación de riesgos ante su adopción. Este objetivo puede alcanzarse proveyendo una cobertura al agricultor con respecto a la producción esperada ante la decisión de uso de las tecnologías. Dicha cobertura permitiría al productor asegurar el ingreso de la cosecha que practica cotidianamente en condiciones normales y sumar los beneficios en caso de que estas sean efectivas.

	<i>Línea de acción 6.5:</i> En caso de contar con nuevas tecnologías de beneficio simultáneo al productor y al medio ambiente, se deben desarrollar protocolos y estándares que permitan cuantificar la disminución de huella de carbono en la producción, de tal manera que no solo implique mayor productividad al productor, si no también un ingreso adicional por su uso.
--	---

Acciones transversales

Línea de acción 7: Consolidar un clima de certidumbre para los inversionistas y usuarios de nuevas tecnologías al elaborar y poner en marcha regulación apropiada que establezca los derechos y obligaciones de los adoptantes, en particular en materia de la información que se genere por el monitoreo continuo de los procesos de producción con las nuevas tecnologías.

Línea de acción 8: Desarrollo de un centro de investigación y desarrollo para la inclusión tecnológica que convoque al sector público, privado, social y académico y cuyo objetivo sea identificar oportunidades de innovación para la reducción de brechas de acceso a tecnologías y desarrollarlas en beneficio de productores agropecuarios con rezago. Ver con mayor detalle propuesta de conformación del instituto en el Apéndice 1.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

El advenimiento de nuevos hitos tecnológicos es señal de una importante oportunidad para detonar el desarrollo sostenible para la población. La tecnología, sin embargo, es un instrumento que puede ser utilizado por la sociedad de manera constructiva o como elemento de depredación acelerada de los recursos naturales.

Ante la naturaleza de los retos comunes a los que se enfrenta el planeta, se hace necesaria la acción colectiva guiada por políticas públicas que encaucen su adopción y democratización, buscando maximizar el bienestar social tanto de nuestra generación como de las siguientes.

Las tecnologías del sector agropecuario son un buen ejemplo de cómo la innovación puede detonar la elevación de la productividad de los recursos naturales, pero a la vez infligir un alto costo ambiental, así como un efecto de polarización en la adopción por parte de los usuarios de estas.

Aquellas que corresponden a la generación “Industria 4.0”, por su naturaleza requieren complejas y onerosas condiciones mínimas para su desarrollo, e.g. mecanización, acceso a internet, capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos de alto volumen, entre otras, por lo que hasta ahora el motor de desarrollo, innovación e investigación se concentra en pocos países y un pequeño grupo de empresas con economías de escala para su uso, alta capacidad tecnológica y en condiciones de atraer talento para su potenciación.

La propensión a la demanda de nuevas tecnologías en México

El presente estudio concluye que los prospectos de desarrollo y oferta de nuevas tecnologías en México son alentadores. México cuenta hoy con una oferta amplia y joven de tecnologías, tanto tangibles como intangibles, donde predominan las plataformas digitales de gestión agrícola, aplicaciones móviles y monitoreo remoto. Paralelamente, la relación costo-beneficio es favorable para la adopción de estas, aunque prevalecen barreras de adopción relevantes donde los estados del norte,

noreste y occidente de México se encuentran en mejores condiciones para adoptarlas.

Tales barreras se elevan por factores relativos al nivel educativo de los productores, al tamaño y nivel de mecanización de la unidad de producción, el acceso y uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y la infraestructura de telecomunicaciones, cuya disparidad geográfica es significativa.

Asimismo, en el presente documento se concluye que, aun cuando las condiciones son propicias para la adopción de tecnologías de agricultura 4.0, existen bajas tasas de adopción entre productores. El análisis de una muestra representativa de agricultores expuestos a estas nuevas tecnologías en materia de ahorro de nitrógeno en el valle del Yaqui, organizada por perfil socioeconómico, capacidades productivas y acompañamiento técnico disponible, permitió deducir que el perfil socioeconómico de los productores es relevante en la decisión de adopción y que, por ejemplo, los agricultores con menor nivel educativo tienen una más baja propensión a utilizar la tecnología. Asimismo, en materia de características económico-productivas, los agricultores con tierras propias y parcelas más grandes son más propensos a aceptar el uso de la tecnología.

Sin embargo, de manera alentadora se pudo apreciar que el conocimiento y exposición previo a la tecnología resultó ser un factor igualmente significativo para elevar la adopción de nuevas tecnologías de producción. Los agricultores que ya están familiarizados con la tecnología, que han visto resultados positivos en parcelas vecinas o que consideran la tecnología útil y adaptable, muestran una mayor propensión a utilizarla.

La presente investigación tiene como principal conclusión que se debe establecer como una prioridad identificar, medir, monitorear y, sobre todo, reducir las barreras para la adopción de nuevas tecnologías en México y que es necesario escalar líneas de acción en la agenda pública y otras de alcance transversal con otros sectores en el marco de una estrategia nacional que fije las metas e hitos en el corto, mediano y largo plazo. Esto evitará las potenciales incoherencias entre diferentes políticas que afecten el desarrollo del sector en esta materia. Escalar esta estrategia dentro

del marco de una Ley para la inclusión en el uso de nuevas tecnologías que enfatice los segmentos más desfavorecidos del campo mexicano permitirá elevar a la importancia natural en la política del Estado que tiene esta importante tarea pendiente en el desarrollo rural sustentable, empleo digno y mejores condiciones de progreso que requieren los productores de nuestro país.

APÉNDICE 1: EXPOSICIÓN DE MOTIVOS Y LEY PARA LA CREACIÓN DEL “INSTITUTO PARA LA INCLUSIÓN TECNOLÓGICA Y EMPRESARIAL DEL CAMPO”⁵³.

Contexto de desarrollo del medio rural

El sector agroalimentario mexicano se caracteriza por contrastes. Por un lado, ha logrado posicionarse como uno de los principales exportadores de alimentos y bebidas a nivel global, contribuyendo con ello a la generación de empleos y divisas para el país. Pero, por el otro, casi la mitad de la población que habita en el medio rural se encuentra en condición de pobreza, con una disparidad de ingresos de hasta trece veces entre el primero y el décimo decil de ingreso. Lo que estos contrastes sugieren es la elevada exclusión que prevalece en el campo mexicano, y uno de los primeros pasos para avanzar hacia una mayor inclusión es reconocer estas disparidades, superando las creencias y los estereotipos negativos para crear las condiciones necesarias para que haya igualdad de oportunidades y movilidad social.

Una de las principales desigualdades radica en el acceso a recursos y tecnología. Los grandes productores suelen tener mejor acceso a tecnologías avanzadas, maquinaria moderna y sistemas de riego eficientes, lo que les permite aumentar su productividad y rentabilidad. En contraste, los pequeños productores, especialmente los de comunidades rurales y marginadas, a menudo carecen de estos recursos, lo que limita su capacidad para competir en el mercado y mejorar sus rendimientos. Esta brecha tecnológica no solo afecta la producción, sino también la capacidad de estos pequeños agricultores para adaptarse a las cambiantes condiciones del mercado y del clima.

Otra significativa desigualdad es la disponibilidad de herramientas y elementos formativos para detonar gestión empresarial y asociatividad. Muchos productores

⁵³ Especial agradecimiento a Dr. Manrubio Muñoz por la colaboración en la exposición de motivos y alcance y relevancia de la propuesta de instituto.

del medio rural carecen de conocimientos sobre cómo organizarse efectivamente, acceder a mercados más amplios o mejorar sus prácticas agrícolas mediante la cooperación. La ausencia de un diagnóstico certero acerca de las oportunidades de asociatividad, así como un marco institucional robusto que promueva y facilite la misma limita las posibilidades de desarrollo.

Esta realidad subraya la necesidad de formular políticas específicamente enfocadas en reducir brechas de desarrollo orientadas a los pequeños agricultores, mejorando su acceso a recursos, tecnología y financiamiento. Solo de esta manera se podrá promover un desarrollo rural más equilibrado y sostenible.

Por qué, en la actualidad, se corre riesgo de ampliar la brecha tecnológica y empresarial en el campo

La escena mundial plantea uno de los mayores desafíos que ha enfrentado el sector agroalimentario ya que tiene el reto de producir alimentación para una población creciente, pero enfrentando limitaciones estructurales y de entorno sin precedente.

Para ilustrar el reto basta evaluar el momento demográficamente único por el que se atraviesa en la primera mitad del siglo 21 en el cual se constata el envejecimiento de la población y de manera más marcada la población rural. Asimismo, en la actualidad se cuenta con recursos naturales más limitados tanto porque hemos degradado su uso como porque hemos autoimpuesto barreras indispensables para prevenir la afectación del medio ambiente.

Esta situación como en episodios anteriores de la humanidad apela a un indispensable salto tecnológico que permita producir más con menos recursos. En palabras de M. Duncan, “Las mejoras tecnológicas han sido las responsables del incremento de la productividad agrícola, y poco puede ser acreditado a los esfuerzos de política de subsidios para adquisición de activos agrícolas”⁵⁴

Las circunstancias que caracterizan al siglo veintiuno parecen propicias para incrementar la eficiencia de los factores pues los avances tecnológicos que se

⁵⁴ Duncan, M., 1989. U.S. Agriculture: Hard realities and new opportunities. *Economic Review*, 74(2): 3-20

presentan en la actualidad conjugan factores de desarrollo exponencial a través del uso del Internet de las cosas (IoT), cómputo en la nube, manejo de datos en gran volumen (big data), 5G, inteligencia artificial, impresión 3D y robótica

Los avances tecnológicos observados en diversas latitudes son prometedores y han resultado en una oferta innovadora de tecnologías que permiten no solo elevar la tasa de producción si no también hacer un uso más efectivo de los insumos esenciales que enfrentan mayor presión.

Sin embargo, debe recordarse que las revoluciones tecnológicas en el sector agroalimentario del pasado han mostrado capacidad de atender los retos que impone el entorno, pero sin excepción⁵⁵ han abierto una brecha de desarrollo entre sus integrantes.

La presente revolución tecnológica agudiza este problema pues el acceso desigual a la tecnología de última generación en el medio rural se relaciona con la falta de infraestructura diversa, ya sea internet de alta velocidad o, por ejemplo, un suministro de electricidad confiable. Existen también costos necesarios para detonarlas como drones, sensores y maquinaria automatizada, que resultan incosteables al pequeño productor. Esto sin considerar la carencia de habilidades y conocimiento para una adopción efectiva de tecnologías agrícolas avanzadas.

El instituto de inclusión tecnológica y empresarial como herramienta para atender el reto

Se plantea la creación de un instituto cuyo primordial objetivo sea investigar y diagnosticar los componentes del rezago tecnológico y empresarial en las diversas zonas agroecológicas del país con mayor rezago y proponer innovaciones para dotar a los productores aludidos con más y mejores herramientas para su desarrollo.

⁵⁵ Considérese la mecanización del campo que trajo palpables resultados en la producción agregada elevando la productividad de los factores de producción, pero a la vez solo pudo ser adoptada por un segmento consolidado de productores del campo. Un resultado similar fue el correspondiente al aporte tecnológico de la llamada “revolución verde” a mediados del siglo veinte.

Si bien en el pasado se han hecho importantes esfuerzos de investigación acerca de nuevas tecnologías del campo, estas han finalizado en manos de los productores más consolidados o con la capacidad de tomar riesgos para su prueba y uso, así como con las economías de escala para sufragar los costos de descubrimiento de nuevas tecnologías.

Asimismo, se ha hecho un esfuerzo en potenciar a pequeños productores para fortalecer sus capacidades empresariales pero generalmente se han dirigido a productores con acceso a mercados, así fuera incipiente, y bajo mecanismos tradicionales y rígidos de organización empresarial que son aplicados sin considerar la idiosincrasia de las diversas regiones en lo que concierne a profundidad de mercados, clima, característica de suelos, acceso a insumos esenciales, vulnerabilidad a cambio climático, acceso a agua, entre otros factores determinantes del éxito de un emprendimiento del campo.

En la actualidad NO existe un centro de innovación que profundice en el diagnóstico de brechas existentes en ambas materias (tecnología y desarrollo empresarial) y que sea el instrumento para proponer planes, programas, acciones y nuevos instrumentos y medios para revertirla.

De esta forma se plantea la creación de un Instituto para la inclusión tecnológica y empresarial del campo cuya misión sea “identificar oportunidades de innovación para la reducción de las brechas de acceso a tecnologías y capacidad empresarial y desarrollarlas en beneficio de productores agropecuarios con rezago”.

Sus principales tareas serán:

1. Diagnosticar la brecha tecnológica entre las unidades de producción el campo prevaeciente en las distintas cadenas de valor y zonas productivas del país.
2. Desarrollar métodos para discernir los componentes de rezago tecnológico y empresarial prevaecientes en las regiones productivas del país privilegiando aquellas en donde la brecha sea de mayor tamaño.

3. Diseñar políticas multidimensionales que permitan reducir las brechas detectadas.
4. Enlazar al instituto con entidades de capital de riesgo, protección de riesgos y financiamiento
5. Promover por medio de los incentivos necesarios, el involucramiento de los participantes más avanzados en las cadenas de valor para generar la sensibilidad y participación sobre el uso de nuevas tecnologías por parte de los productores que muestran mayor rezago, así como el desarrollo de capacidades empresariales en su cadena de proveeduría.
6. Apoyar el desarrollo y establecimiento de pequeños y medianos agronegocios a través de métodos innovadores de asociatividad y de iniciativa empresarial
7. Coadyuvar a la consolidación de pequeños agronegocios, para que se encuentren en la posibilidad de generar resiliencia ante las demandas cambiantes de los mercados y el cambio tecnológico y climático.
8. Conformar alianzas con otros agentes económicos relevantes para facilitar la inserción empresarial de pequeños productores con brecha de acceso a los mercados.

Se considera que este instituto no podrá alcanzar sus objetivos sin el concurso de los participantes clave de la innovación tecnológica y empresarial aplicada siguientes:

1. Academia: principal responsable de la investigación de frontera del sector agroalimentario,

2. Empresas: representan el motor de tracción para lograr la misión y determinan los estándares de producción para acceder a mercados profundos indispensables para ejercer efecto de tracción sobre los productores rezagados
3. Organizaciones de productores: responsables de representar a los agentes objeto de la iniciativa y quienes darán voz a los productores rezagados
4. Gobierno: quien dotará de las herramientas necesarias para el inicio de sus tareas fundamentales y guiará su agenda y prioridades en concurso con los demás integrantes.

Ley por la que se crea el Instituto para la inclusión tecnológica y empresarial del campo

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. - La presente ley tiene como objeto la creación del instituto para la inclusión tecnológica y empresarial del campo, cuyo primordial objetivo sea investigar y diagnosticar los componentes del rezago tecnológico y empresarial en las diversas zonas agroecológicas del país y proponer innovaciones para dotar a los productores que las habitan con más y mejores herramientas para su desarrollo. La interpretación y aplicación de la presente ley corresponderá a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).

Artículo 2. - Se crea con fundamento en el artículo 45, de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; el Organismo Público Descentralizado el Instituto para la inclusión tecnológica y empresarial del campo con personalidad jurídica y patrimonio propio.

Artículo 3. - Son fines del Instituto:

9. Diagnosticar la brecha tecnológica entre las unidades de producción el campo prevaeciente en las distintas cadenas de valor y zonas productivas del país.
10. Desarrollar métodos para discernir los componentes de rezago tecnológico y empresarial prevaecientes en las regiones productivas del país privilegiando aquellas en donde la brecha sea de mayor tamaño.
11. Diseñar políticas multidimensionales que permitan reducir las brechas detectadas.
12. Enlazar al instituto con entidades de capital de riesgo, protección de riesgos y financiamiento
13. Promover por medio de los incentivos necesarios, el involucramiento de los participantes más avanzados en las cadenas de valor para generar la sensibilidad y participación sobre el uso de nuevas tecnologías por parte de los productores que muestran mayor rezago, así como el desarrollo de capacidades empresariales en su cadena de proveeduría.
14. Apoyar el desarrollo y establecimiento de pequeños y medianos agronegocios a través de métodos innovadores de asociatividad y de iniciativa empresarial
15. Coadyuvar a la consolidación de pequeños agronegocios, para que se encuentren en la posibilidad de generar resiliencia ante las demandas cambiantes de los mercados y el cambio tecnológico y climático.

16. Conformar alianzas con otros agentes económicos relevantes para facilitar la inserción empresarial de pequeños productores con brecha de acceso a los mercados.

Artículo 4. - El patrimonio del organismo se integrará por:

- I. Las transferencias que se le asignen en el Presupuesto de Egresos de la Federación del ejercicio fiscal de que se trate;
- II. Las aportaciones de cuotas por parte del sector privado, en la misma proporción que haga el Gobierno Federal, en términos de la fracción anterior.
- III. Los bienes muebles e inmuebles que el Ejecutivo Federal le asigne;
- IV. Los ingresos propios provenientes de los servicios de tecnología y capacitación que preste.
- V. Las donaciones y legados que reciba, y
- VI. Los demás ingresos, bienes, derechos y recursos que por cualquier otro concepto adquiera.

Artículo 5. - La administración y operación del organismo estará a cargo de los siguientes órganos:

- I. Junta de Gobierno, y
- II. Director General,

Artículo 6. - La Junta de Gobierno se integrará por:

- I. El Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), quien la presidirá;
- II. El Titular de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) quien tendrá adicionalmente la función de secretario de la junta de Gobierno.
- III. Un representante del sector académico propuesto por la Secretaria de agricultura,
- IV. Un representante del sector empresarial nombrado por el Consejo Nacional Agropecuario (CNA) y

- V. Un representante del sector social nombrado por la Secretaría de agricultura.

Se tendrá como invitados permanentes a la CNOG, CNC, CNPR y dos representantes empresariales designados por el CNA. Los integrantes de la Junta de Gobierno podrán designar a su respectivo suplente, quien deberá tener al menos el nivel jerárquico inferior al titular. La participación de los integrantes de la Junta de Gobierno será honorífica.

Artículo 7. - La Junta de Gobierno tendrá las atribuciones siguientes:

- I. Aprobar las acciones de colaboración que el director general acuerde con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal y Estatal, para el adecuado cumplimiento del objeto, fines y funciones del organismo;
- II. Aprobar los planes y programas de trabajo que se requieran para el adecuado cumplimiento del objeto, fines y funciones del Instituto.
- III. Aprobar la propuesta de Estatuto Orgánico y, en su caso, las modificaciones que presente el director general;
- IV. Aprobar el informe anual de gestión del organismo;
- V. Designar a los servidores públicos de los dos niveles jerárquicos inferiores al del director general, a propuesta de este último, y

El director general del organismo solo podrá presentar a la autorización de la junta de gobierno, los asuntos que previamente hayan sido sometidos y aprobados para su presentación por el Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y el Director General de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA).

Artículo 8. - La Junta de Gobierno del organismo celebrará sesiones ordinarias por lo menos cuatro veces al año, y las extraordinarias que proponga su presidente o cuando menos tres de sus integrantes. Para que la Junta de Gobierno sesione válidamente se requerirá la presencia de por lo menos cuatro de sus miembros, incluido su presidente.

Las resoluciones de la Junta de Gobierno se tomarán por mayoría de los miembros presentes. El presidente de la Junta de Gobierno tendrá voto de calidad en caso de empate.

Artículo 9. - El director general del organismo deberá reunir los requisitos establecidos en el artículo 21 de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales y será designado por el Presidente de la República a través del Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural con el visto bueno del Director General de FIRA.

El Estatuto Orgánico establecerá la forma en que el director general deba ser suplido en sus ausencias.

Artículo 10. - El director general del organismo tendrá las facultades siguientes:

- I. Elaborar los planes y programas de trabajo que se requieran para el adecuado cumplimiento del objeto, fines y funciones del organismo, así como someterlos a la aprobación de la Junta de Gobierno;
- II. Elaborar el informe anual de la gestión del organismo y someterlo a la aprobación de la Junta de Gobierno;
- III. Ejecutar las decisiones que se adopten en la Junta de Gobierno;
- IV. Ejercer el presupuesto del organismo con sujeción al marco jurídico aplicable;
- V. Presentar a la Junta de Gobierno para su aprobación, el Estatuto Orgánico y sus modificaciones;
- VI. Proporcionar a la Junta de Gobierno la información que se solicite;
- VII. Proponer a los candidatos a ocupar las plazas de los servidores públicos de los dos niveles jerárquicos inferiores a él para que, en su caso, sean designados por la Junta de Gobierno, y

Artículo 11. - Para la elaboración de recomendaciones en materias asociadas al objetivo del instituto, la Junta de Gobierno se podrá auxiliar de Expertos en la materia.

Artículo 12. - El organismo contará con un órgano de vigilancia integrado por un Comisario Público propietario y un suplente, designados por la Secretaría de la Función Pública, quienes asistirán con voz, pero sin voto a las sesiones ordinarias y extraordinarias de la Junta de Gobierno y tendrán las atribuciones que les otorga la Ley Federal de las Entidades Paraestatales, su Reglamento y demás disposiciones aplicables.

Artículo 13. - El organismo contará con un representante de la secretaría de la Función Pública de conformidad con la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y las disposiciones de la Secretaría de la Función Pública.

Artículo 14. - El organismo promoverá el adiestramiento técnico y la capacitación profesional de sus trabajadores, a fin de mejorar sus conocimientos, la productividad, la responsabilidad y la seguridad en el trabajo.

Artículo 15. - Las relaciones laborales del organismo con sus trabajadores se regirán por lo dispuesto en el Apartado "B" del Artículo 123 de la Constitución Política de los Estados

TRANSITORIOS

PRIMERO: La presente Ley entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO: A la entrada en vigor de la presente Ley, se transfiere la estructura de instalaciones a escala nacional de FIRCO.

TERCERO: Se derogan todas las disposiciones que contravengan a lo establecido en la presente Ley.