



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



# Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro

## ***EVALUACIÓN TÉCNICA Y COMERCIAL DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS***

Que para obtener el Grado de:  
***MAESTRO EN INGENIERÍA***

presenta:

**VICTOR MANUEL CORIA MORA**

Dirigida por:

M.C. Omar Alejandro Cervantes Gloria  
Dr. Carlos Velasco Santos  
M.C. Margarita Prieto Uscanga

Octubre, 2022

**VÍCTOR MANUEL CORIA MORA**  
**ESTUDIANTE**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA**  
**PRESENTE**

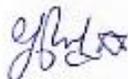
De acuerdo con el Reglamento para Exámenes Profesionales de la Dirección General de Educación Superior Tecnológica, se le autoriza la impresión de la Tesis, para obtener el Grado de MAESTRÍA EN INGENIERÍA, titulada:

**"EVALUACIÓN TÉCNICA Y COMERCIAL DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS"**

Para el correspondiente Examen de Grado

**ATENTAMENTE**

Excellencia en Educación Tecnológica  
"La tierra será, como sean los sembrados"



**GABRIELA PINEDA CHACÓN**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



ccp. Archivo  
CFCH/Quer



Av. Tecnológico s/n esq. Mariano Escobedo, Col. Centro, C.P.76000, Querétaro, Querétaro.

Plantel Centro tel. 01(442) 2274400 ext. 4421 y Plantel Norte tel. 01(442) 2435554

e-mail: depin@queretaro.tecnm.mx



**2022 Flores**  
Jefe de Maestría

**A QUIEN CORRESPONDA:  
PRESENTE**

Por medio de la presente se hace constar que el trabajo de tesis con título: "**EVALUACIÓN TÉCNICA Y COMERCIAL DE UN SISTEMA PARA SUPERVISIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS**"; ha sido revisado por medio de la herramienta de software TURNITIN, cuyo resultado se anexa a la presente y **no se ha encontrado evidencias de plagio en su realización**. El autor de dicho trabajo, estudiante de **Maestría en Ingeniería, VÍCTOR MANUEL CORIA MORA**, es el responsable de la autenticidad y originalidad del mismo y manifiesta que para su desarrollo ha utilizado diversas citas para su soporte, mismas que han sido marcadas a lo largo del mismo y listadas al final como REFERENCIAS bibliográficas.

Se extiende la presente para la continuación del proceso de obtención del grado de Maestría en Ingeniería, y a petición del interesado.

Sin más por el momento, agradezco su disposición y valioso apoyo.

**ATENTAMENTE**  
Excelencia en Educación Tecnológica  
La Maestría será, como dicen los franceses



**GABRIELA PINEDA CHACÓN**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

ccp. Archivo

Jany\*



Santiago de Querétaro, Qro. 25 de mayo de 2022.

El que suscribe, egresado de MAESTRÍA EN INGENIERÍA; de manera libre y voluntaria autorizo al Centro de Información del Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro a difundir la obra de mi autoría con el Título del trabajo EVALUACIÓN TÉCNICA Y COMERCIAL DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS Para fines académicos, científicos y tecnológicos, mediante formato CD-ROM o digital, desde Internet, Intranet y en general cualquier formato conocido o por conocer.

Dicha obra estará disponible al estudiantado de esta Institución a partir del 01 de junio de 2022, fecha en la cual se puede difundir la obra.

Postulante: Víctor Manuel Coria Mora

No. de Control: M19141455

Correo electrónico: victor.coriamora@gmail.com

Título de la obra: Evaluación Técnica Y Comercial De Un Sistema Para La Supervisión De Cultivos Agrícolas

Área del conocimiento: Sistemas de Gestión, Evaluación de proyectos, Electrónica, Automatización

Palabras clave de la obra: Evaluación Técnica, Modelo de negocios, Monitoreo de variables



---

VICTOR MANUEL CORIA MORA

## ÍNDICE

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT .....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO UNO: LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN .....	4
1.1 Agricultura de precisión .....	4
1.2 La importancia de la agricultura de precisión .....	7
1.3 Sistemas de agricultura de precisión .....	9
1.4 Casos de éxito.....	17
1.5 Limitantes para la adopción de tecnologías AP .....	21
1.6 Análisis del mercado y tendencias clave.....	22
1.7 Publicaciones Y Patentes .....	25
1.8 Principales desarrolladores de tecnología AP .....	30
1.9 Propiedad industrial de sistemas de AP.....	34
CAPITULO DOS: GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA .....	36
2.1 Gestión de la tecnología.....	36
2.2 Importancia de la gestión de la tecnología .....	37
2.3 Los modelos de transferencia de tecnología .....	39
2.4 Mecanismos de transferencia tecnológica.....	41
2.5 Etapa de maduración de la tecnología .....	49
2.6 Planeación estratégica.....	50
CAPITULO TRES: METODOLOGÍA .....	53
3.1 Diseño metodológico.....	54
CAPÍTULO CUATRO: DESARROLLO TÉCNICO DEL SISTEMA.....	56
4.1 Sensores utilizados en el sistema de adquisición de información.....	56
4.2 Microcontrolador utilizado en el sistema de adquisición de información .....	59
4.3 Módulo de comunicación utilizado en el sistema de adquisición de información .....	63
4.4 Desarrollo de la estación de captura de datos meteorológicos.....	65
4.4.1 Recolección de los datos .....	71
4.4.2 Envío de los datos.....	72
4.4.3 Recepción de los datos .....	73
4.4.4 Procesamiento de los datos .....	75
4.4.5 Información disponible para consulta .....	77
CAPÍTULO CINCO: ESTUDIO TÉCNICO .....	79
5.1 Estudio Técnico .....	79
5.2 Planeación estratégica.....	79
5.2.1 Determinación de valores, misión y visión.....	80
5.2.2 Determinación del nivel de madurez tecnológica.....	80
5.2.3 Análisis del entorno .....	85
5.2.4 Objetivos a largo plazo.....	90
5.2.5 Plan de acción .....	90
5.3 Determinación de la localización óptima del proyecto: macro localización .....	98
5.4 Disponibilidad y costo de suministros e insumos.....	102
5.5 Identificación del proceso productivo .....	106
5.6 Determinación organizacional humana y jurídica .....	109
CONCLUSIONES .....	112
RECOMENDACIONES.....	114

Referencias .....	115
Anexo Uno: Diagnóstico del Nivel de Madurez Tecnológica .....	123
Anexo Dos: Descripciones de puestos.....	127
Apéndice Uno: Especificaciones técnicas de los sensores utilizados.....	130
Apéndice Dos: Diagrama de pines ARDUINO UNO.....	133
Apéndice Tres: Especificaciones técnicas Modulo Sim900.....	134
Apéndice Cuatro: Herramienta MRL Criterios de evaluación .....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo básico de la agricultura de precisión Fuente: Gil, 1997 .....	10
Figura 2. Componentes básicos de una estación meteorológica Fuente: INIFAP, 2020	11
Figura 3. Vista de la arquitectura IoT Fuente: Datta, 2014 .....	14
Figura 4. Diagrama esquemático del sistema de monitoreo inalámbrico Fuente: Suarez 2014 .....	15
Figura 5 Modelo de transferencia tecnológica horizontal. Fuente:Arroyo, 2007.....	42
Figura 6 Principales enfoques de la transferencia tecnológica. Fuente:Arroyo, 2007 ..	43
Figura 7 Modelo lineal de transferencia tecnológica Fuente Siegel et al 2004.....	44
Figura 8. Modelo dinámico de transferencia tecnológica. Fuente: Siegel et al 2004. ....	45
Figura 9 Modelo Catch Up.....	46
Figura 10. Modelo Conceptual del Comercialización y Transferencia de Tecnología Fuente: Tecnológico Nacional de México 2015 .....	47
Figura 11 Lienzo Lean Canvas Recuperado de: <a href="https://yiminshum.com/modelo-de-negocio-lean-canvas/">https://yiminshum.com/modelo-de-negocio-lean-canvas/</a> , 2015.....	52
Figura 12 Diagrama de actividades .....	53
Figura 13. Propuesta del Lienzo Lean canvas .....	55
Figura 14. Clasificación básica de los sensores electrónicos.....	56
Figura 15. Sensor ADCON Pro10 Wind Speed.....	57
Figura 16. Sensor ADCON Pro10 Wind Direction .....	58
Figura 17. Sensor ADCON TR1 .....	58
Figura 18. Sensor ADCON TR1 Solar exposure Fuente: ADCON Datasheet s.f. ....	59
Figura 19. Sensor ADCON WMO Fuente: ADCON Datasheet s.f. ....	59
Figura 20 Diagrama de pines Arduino UNO. Fuente: ARDUINO, 2020 .....	61
Figura 21. Mapa de cobertura señal telecomunicaciones GSM en México Fuente: Radiomóvil Dipsa SA de CV, 2021 .....	64
Figura 22. Modulo Arduino GPRS/GSM Shield Fuente: Naylampmechatronics, 2018... 64	64
Figura 23 Algoritmo de operación .....	65
Figura 24. Paquete de baterías para energizar la estación metereologica .....	66
Figura 25. Diagrama Esquemático PCB .....	67
Figura 26 Diagrama de distribución de pines en conector SDI-12 7PIN Fuente: ADCON Datasheet s.f. ....	68
Figura 27. Terminal conector SDI-12 5PIN .....	68
Figura 28. Características físicas conectores SDI-12.....	69
Figura 29. Gabinete del sistema datalogger con cuatro sensores conectados .....	69
Figura 30 Prototipo terminado de la estación agrometeorológica .....	70
Figura 31 Cont. Prototipo terminado de la estación agrometeorológica .....	70
Figura 32. Proceso de recolección de datos.....	71
Figura 33. Código encargado del proceso de lectura de los sensores.....	72
Figura 34. Código correspondiente al conexionado a la red móvil.....	72
Figura 35. Código encargado de realizar .....	73
Figura 36. Ventana principal software Altair Smartworks.....	74
Figura 37. Ventana "Data Streams" software Altair Smartworks .....	74
Figura 38. Ventana de servicios dentro del software Altair Smartworks .....	75
Figura 39. Ejemplo de un documento formato .xls almacenado en la nube .....	78
Figura 40 Estructura del análisis PESTEL .....	85
Figura 41 Propuesta del modelo de negocios sobre el lienzo lean canvas.....	90
Figura 42 Análisis del POV.....	91
Figura 43 Mapa de empatía .....	92
Figura 44 Herramienta lienzo de la propuesta de valor .....	93

<b>Figura 45. Pantalla principal de la Aplicación “Agro oferta” .....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 46. Mapa de localización de entidades federativas por evaluar .....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 47 Etapas del proceso productivo .....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 48 Organigrama propuesto .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 49 Diagrama de pines completo Fuente: ARDUINO 2020.....</b>	<b>133</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aplicaciones más comunes de sistemas WSN.....	16
Tabla 2 Producción de frutillas tipo berries en México.....	24
Tabla 3 Base de datos de consulta.....	26
Tabla 4 Estaciones meteorológicas y sistemas de AP comercialmente disponibles ....	33
Tabla 5 Patentes de sistemas de información para cultivos agrícolas.....	35
Tabla 6 Niveles de madurez por tipo de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.....	49
Tabla 7 Objetivos, técnicas e instrumentos a utilizar en las diferentes fases.....	54
Tabla 8. Sensores utilizados por la estación de captura de datos.....	57
Tabla 9. Requerimientos eléctricos de los componentes utilizados.....	66
Tabla 10. Proyecciones de acuerdo a la etapa morfológica.....	76
Tabla 11. Unidades de medición de las lecturas presentadas.....	78
Tabla 12 Nivel de madurez de manufactura MRL.....	81
Tabla 13 Aplicación de la evaluación MRL.....	83
Tabla 14 Nivel de madurez para comercialización (CRL).....	84
Tabla 15 Matriz PESTEL.....	86
Tabla 16 Aplicación de las 5 Fuerzas de Porter.....	88
Tabla 17 Macro localización.....	102
Tabla 18. Equipo Clave.....	102
Tabla 19. Requerimiento de maquinaria, equipo y consumibles.....	103
Tabla 20. Costo de producción de una estación meteorológica.....	104
Tabla 21 Presupuesto estimado de costo de servicios.....	105
Tabla 22 Producción de las estaciones.....	107
Tabla 23 Presupuesto Estimado de Mano de Obra.....	110
Tabla 24 Formato para evaluación de nivel de madurez tecnológica.....	123
Tabla 25 Aplicación de herramienta TRL al proyecto.....	124
Tabla 26 Descripción de puesto A1.....	127
Tabla 27 Descripción de puesto A2.....	128
Tabla 28 Descripción de puesto A3.....	128
Tabla 29 Descripción de puesto B1.....	129
Tabla 30 Descripción de puesto B2.....	129
Tabla 31 Información técnica ADCON Pro10 Wind Speed.....	130
Tabla 32 Información técnica ADCON Pro10 Wind Direction.....	130
Tabla 33 Información técnica ADCON TR1.....	131
Tabla 34 Información técnica ADCON WMO.....	131
Tabla 35 Información técnica ADCON Radiación solar.....	132
Tabla 36 Información Técnica GPRS Shield (Sim900).....	134
Tabla 37 Criterios de evaluación herramienta MRL.....	135

## **RESUMEN**

**Palabras Clave:** (IoT, Agricultura de precisión)

Las empresas agrícolas han visto la necesidad de modificar sus estrategias para responder a los cambios constantes del mercado, fomentando la innovación y los desarrollos tecnológicos que permiten mejorar su productividad, procesos y recursos para contribuir a su competitividad ante un mundo globalizado. La tecnología es hoy una variable clave a gestionar, esto implica la generación de conocimientos nuevos que se traducen en productos y procesos que crean ventajas competitivas. El presente trabajo plantea como objetivo el desarrollo de un sistema de agricultura de precisión basado en el uso de tecnología 4.0 e Internet de las cosas (IoT) para la adquisición de datos agrometeorológicos y su evaluación técnica y comercial; los cuales, además de ser recolectados y presentados al usuario, generan pronósticos para el desarrollo y aparición de organismos dañinos mediante la utilización de un algoritmo programado con lógica difusa particularmente para su aplicación en el cultivo de zarzamora; proporcionando información para la toma de decisiones en el manejo estratégico de las plagas y enfermedades que afectan negativamente a la productividad del cultivo, permitiendo emplear estrategias de control sustentables y con alta eficiencia en la utilización de los recursos. Adicionalmente, se realiza la valorización y análisis de mercado para esta tecnología, con el propósito de identificar las características que debe poseer el desarrollo tecnológico para ser introducido y aceptado por el mercado objetivo.

## **ABSTRACT**

Companies focused mainly on agricultural sectors, have seen the need to modify their strategies in order to respond to the constant changes in the market, promoting innovation and technological developments that allow them to improve their productivity, increase process handling and improve their resource management, all of it with purpose of contributing to their competitiveness in the globalized world. Technology is considered a key variable that must be managed, it implies the generation of new knowledge that translates into products and processes that create competitive advantages. The objective of the present work is the development of a precision agriculture system based on the use of 4.0 technologies and Internet of Things (IoT) technologies for the acquisition of agrometeorological data, which in addition to being collected and presented to the user, will be used to generate forecasts for the development and appearance of harmful organisms all of it, through the use of an algorithm

based on fuzzy logic programming. The system will be design for use in a blackberry crop field, providing key data to the decision-making process during the strategic management, allowing the use of sustainable control strategies against pests and diseases that negatively affect the crop productivity, while also providing a high rate of efficiency in the use of resources. After that, a technical and commercial evaluation will be performed, including a product evaluation and market analysis, with the purpose of identifying the features that the technological development must have in order to be successfully introduced and accepted by the target market.

## INTRODUCCIÓN

Ante un mundo globalizado, las empresas se ven en la necesidad de revisar y ajustar sus estrategias para responder a la dinámica de cambios en el mercado, siendo importante fomentar la innovación y los desarrollos tecnológicos que les permitan mejorar su productividad, sus procesos y sus recursos; contribuyendo así a su competitividad (OCDE Y Eurostat, 2005).

La tecnología ha pasado a ser una variable clave a gestionar, lo que implica la generación de nuevos conocimientos que se traducen en productos y procesos creando ventajas competitivas en las organizaciones (Bellido, 2012) (Ramos Vargas, 2020).

El uso de la ciencia, innovación y tecnología son herramientas estratégicas para las organizaciones, que junto con el capital humano son determinantes para la productividad, contribuyendo a la permanencia en el mercado (Pinochet, 2020) (Planas de Martí, 2019).

Es importante mencionar que el presente trabajo efectúa una sinergia entre dos de las líneas de especialización de la Maestría en Ingeniería, por un lado, la línea de Automatización y Sustentabilidad (AyS) se comisiona para el diseño, programación y construcción del dispositivo tecnológico, mientras que la línea de Sistemas de Gestión e Innovación (SGEI) está encargada de sentar las bases que permiten realizar tanto el estudio técnico como el estudio comercial.

El sistema de supervisión de cultivos agrícolas desarrollado es capaz de tomar la información meteorológica, registrarla e interpretarla por medio de un algoritmo de lógica difusa además de comunicarla mediante una unidad encargada de realizar la publicación de la información en un documento disponible en la red para su posterior consulta desde cualquier dispositivo.

Dentro del alcance del proyecto de investigación, se estudia y analiza el mercado con el objetivo de determinar la viabilidad del sistema de supervisión de cultivos agrícolas.

Para asegurar la factibilidad en cuanto al desarrollo del sistema de adquisición de datos y procesamiento de la información, y para asegurar una correcta interpretación de la información obtenida se limita la cantidad de variables meteorológicas medidas, así mismo, se definió el cultivo agrícola sobre el cuál es aplicable el sistema desarrollado.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la factibilidad y la viabilidad para el desarrollo de un sistema para supervisión de cultivos agrícolas desde las perspectivas técnica y comercial.

El proyecto cuenta con los siguientes objetivos específicos estructurados desde tres ejes principales: el desarrollo tecnológico, la evaluación técnica para la producción y la evaluación comercial del mercado:

- i. Desarrollo técnico del sistema
  - a. Desarrollar un prototipo tecnológico de una estación de captura de datos meteorológicos.
  - b. Desarrollar una unidad automatizada para envío y almacenamiento de información para su posterior consulta en línea.
  - c. Desarrollar un sistema de análisis de datos y procesamiento de información.
- ii. Evaluación Técnica
  - a. Realizar un estudio técnico.
  - b. Realizar una valorización de la tecnología desarrollada.
  - c. Identificar las posibilidades para la protección industrial del desarrollo tecnológico.
- iii. Evaluación Comercial
  - a. Realizar un estudio de mercado.

El capítulo inicial del presente trabajo de tesis, se enfoca en una investigación sobre el desarrollo de los sistemas de adquisición de información agroclimática enfocada al sector agrícola de México y a nivel internacional, así como sus principales aplicaciones; el tipo de tecnología que comúnmente se considera, su cadena de valor y su mercado, así como las principales empresas o instituciones que están trabajando con los sistemas de información para la innovación de nuevos métodos de producción.

En el capítulo dos se presentan conceptos referentes a la gestión de la tecnología, así como los principales modelos de transferencia de tecnología, sus funciones, herramientas, mecanismos, estrategias y conceptos relacionados.

Dentro del tercer capítulo se identifica la metodología necesaria y se determina la ruta a seguir para llevar a cabo el desarrollo tecnológico correspondiente al sistema para supervisión de cultivos agrícolas.

El desarrollo tecnológico es detallado dentro del capítulo número cuatro mostrando los componentes electrónicos (sensores, controladores, etc.) así como los softwares y lenguajes de programación que fueron utilizados.

Por último, en el capítulo número cinco, se analizan conceptos de la valorización y comercialización de la tecnología, con el propósito de identificar conceptos y herramientas para identificar las principales características y condiciones que necesita tener una tecnología o desarrollo tecnológico para ser introducido al mercado. Así mismo, se presenta el informe de resultados de valorización y comercialización del sistema para supervisión de cultivos agrícolas desarrollado en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Querétaro, por investigadores de la Maestría en Ingeniería.

## **CAPITULO UNO: LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

### **1.1 Agricultura de precisión**

Desde épocas antiguas, el hombre ha debido crear estrategias para adaptarse a las condiciones climáticas que imperan en los nichos ecológicos que habita. Sin embargo, el desarrollo económico y la urgente necesidad de optimizar recursos productivos entre los que se incluye el clima le ha obligado a estudiar y entender mejor su comportamiento por medio de la observación sistemática y permanente de las variables que lo integran gracias a la implementación y uso de estaciones meteorológicas manuales y automáticas. En la actualidad, cuando el sector agropecuario vive un proceso de modernización e inserción a una economía abierta y competitiva, se requiere de nuevas estrategias que permitan reducir al máximo aquellas incertidumbres que arriesguen sus resultados productivos. Sin duda, el monitoreo y la generación de modelos aplicados, que interpreten y permitan el desarrollo de sistemas de alerta climática responde a una necesidad específica del productor, especialmente cuando su objetivo no solo es producir sino ajustarse a exigencias cada vez mayores de calidad y oportunidad, como única vía para que la comercialización de sus productos le asegure el máximo retorno económico (Maldonado, 2006).

El uso de información meteorológica en el pronóstico de enfermedades y seguimiento del crecimiento de los cultivos ha proliferado en los últimos años, posee grandes ventajas e innumerables aplicaciones (Secor et al., 2006). El conocimiento sobre las interacciones que ocurren entre el subsuelo, la interface suelo-atmósfera, las capas bajas de la atmósfera, la cobertura vegetal, el confort animal, entre otros, es esencial para la planificación estratégica y las decisiones agro-meteorológicas en distintas escalas temporales: desde las decisiones de corto plazo (las actividades de la semana, la conveniencia o no de sembrar, cosechar, fertilizar, asperjar, regar, reubicar el ganado, entre otras), hasta la planificación a mediano a largo plazo (diseño de sistemas de riego, de drenaje, de cosecha de agua, selección de cultivos, animales o sistema productivo, contratación de seguro agropecuario y otras) pueden ser más objetivas si se dispone de información agro-meteorológica, con observaciones que correspondan al detalle requerido (escala geográfica adecuada), que permita monitorear las condiciones agro-meteorológicas, generar productos y servicios, emitir avisos y alertas.

La Agricultura de Precisión (AP) es “el conjunto de tecnologías que se aplican al trabajo en el campo como satélites, sensores, imágenes y datos geográficos, que reúnen la

información necesaria para entender las variaciones del suelo y los cultivos” (Cooperativa Agrícola Ganadera Cruz alta Limitada, s.f).

Para poder generar información confiable se necesita una integración de diferentes metodologías aplicadas al proceso de obtención de datos, generación de los modelos predictivos y los modelos de análisis de información, además de esto, también se necesitan diversas tecnologías para el procesamiento, visualización, análisis, e interpretación.

Una estación meteorológica automatizada es un sistema o una estructura que incluye sensores que registran y almacenan información meteorológica en tiempo real y de modo automático, miden datos de variables como precipitaciones, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa, punto de rocío, presión atmosférica, evapotranspiración (GLOBALMET, 2017).

La Agricultura de Precisión también denominada Agricultura 4.0 (término acuñado directamente del concepto de Industria 4.0) es aquella en donde la automatización, la conectividad principalmente por medio de internet, red celular o inclusive por radiofrecuencia, el uso de fuentes de energía alternativas o renovables además de la administración eficaz de los recursos son preponderantes.

La AP puede considerarse como un paso más hacia la precisión de las operaciones culturales manteniendo como objetivos el incremento de la competitividad de los productos (en calidad y cantidad) y el mantenimiento de la protección medioambiental (Pinochet, 2020).

Para Planas de Martí (2019), la agricultura de precisión, “constituye una nueva forma de gestión de los cultivos. Parte de la observación y medida de la variabilidad en parcela y prosigue con el procesado de la información y la toma de decisiones avanzadas que afectan las principales operaciones de cultivo” (p. 10).

La agricultura de precisión se consolida como una de las tecnologías más importantes a integrar en los sistemas productivos de la actualidad, principalmente enfocado a reducir los costes en general, a incrementar el volumen de producción y a integrar un cierto nivel de trazabilidad.

Además, la práctica de la agricultura de precisión suele reportar mejoras en la seguridad de los trabajadores agrícolas y de las personas ubicadas en las proximidades de las parcelas de cultivo (población diseminada y transeúntes) y también, una mayor prevención de los riesgos de contaminación ambiental (Planas de Martí, 2019).

El desarrollo de la agricultura de precisión ha sido posible gracias a la mejora de diversos tipos de sensores, los cuales tradicionalmente son colocados sobre vehículos terrestres o aeronaves con capacidad de adquirir una gran cantidad de información sobre variables tanto climáticas como de distribución espacial. Esta información adquirida es procesada, de acuerdo al tipo de aplicación, en tiempo real, con el objetivo de adecuar los parámetros de las operaciones de cultivo, siembra, cosecha, aplicación de pesticidas, herbicidas, riego, etc.

La rápida evolución que la agricultura ha experimentado en las últimas décadas ha tenido como consecuencia factores tanto positivos como negativos. Desde el punto de vista positivo, es posible mencionar el aumento de la productividad del trabajo, la mejora de las condiciones y el mejor aprovechamiento de las materias primas a nivel de parcela, en el caso contrario, se pueden mencionar como consecuencias de este aumento de la productividad, una mayor dificultad para la obtención de información a nivel de parcela y una cada vez más difícil tarea de dar respuestas puntuales adaptadas a los condicionantes (Gil, 1997).

Las nuevas tecnologías emergentes que se encuentran a disposición del agricultor, ligadas con la agricultura de precisión, están enfocadas a comportarse como una especie de “lente vigía” encargados de realizar un monitoreo constante sobre las diferentes eventos y variaciones agroclimáticas que suceden naturalmente dentro de las parcelas de producción agrícola, generando a su vez información para la integración de bases de datos las cuales son una herramienta imprescindible de ayuda a la toma de decisiones en cuanto al sistema productivo.

Algunas otras ventajas de la AP es que sus resultados se concretan en el incremento de los rendimientos, la optimización del consumo de insumos (agua de riego, fertilizantes y fitosanitarios), la disminución de los costes operativos y, como consecuencia de todo ello, la mejora en los beneficios económicos de las empresas agrarias (Planas de Martí, 2019).

“La AP es un instrumento que, sin duda, ayudará a avanzar en el camino de la sostenibilidad de la agricultura y la mejora de la situación económica y social del entorno rural” (Planas de Martí, 2019)

Sin embargo, es posible identificar algunas barreras para la adopción de los sistemas tecnológicos que deben ser superadas previo a la implementación:

- 1.- La agricultura de precisión involucra “intensidad de información”. La elaboración de mapas de suelos, cultivos, rendimientos y factores ambientales que afectan a la producción final genera un elevado volumen de información que junto con los conocimientos propios derivados de la experiencia, las variabilidades climáticas y las exigencias del mercado hacen imprescindible el desarrollo de herramientas de integración de la información y sistemas expertos de soporte a las decisiones, debiendo estos en cualquier caso presentar condiciones de estandarización de datos y transferencia de información adecuados (Bongiovanni et al., 2006).
- 2.- Se observa actualmente un déficit en cuanto a los criterios de selección de los procedimientos racionales a aplicar y las estrategias a seguir para la determinación de las necesidades basadas en la variabilidad intraparcularia, así como una ausencia de validaciones científicas en cuanto a los beneficios generados (Gil ,1997).
- 3.- La obtención de datos relativos al suelo, cultivo y condiciones ambientales en general resulta todavía una labor costosa en tiempo e inversión. Es preciso el desarrollo de sistemas de sensores capaces de generar de forma precisa, rápida y barata la información necesaria (Gil ,1997).

La AP, se trata por tanto de una actuación multidisciplinar, es preciso pues el desarrollo de actividades de investigación conjunta capaces de poner a disposición del agricultor medio las enormes posibilidades de este nuevo, y al mismo tiempo antiguo, sistema de producción (Khosla,2001).

## **1.2 La importancia de la agricultura de precisión**

La agricultura de precisión integra diversas tecnologías para optimizar la productividad de un cultivo, al mismo tiempo que minimiza su impacto ambiental. Esta disciplina reconoce la variabilidad espacial inherente que está asociada a cada plantación o lote destinado a la producción agrícola (Thrikawala et al., 1999). Una vez que se reconoce, localiza, cuantifica y

registra la variabilidad espacial y temporal de cada unidad agrícola, es posible proporcionar un manejo agronómico diferenciado en cada sitio específico (Khosla, Zoning in on Precision agriculture , 2001).

Utiliza sistemas para detectar eventos, recopilar datos, medir cambios que ocurren en el ambiente físico y recolectar información la cual es procesada por un sistema de control.

Uno de los conceptos claves para el manejo de plagas, es el originado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) que se denomina “manejo integrado de plagas” (IPM, por sus siglas en inglés). El IPM es un sistema que, en el contexto de un medio ambiente específico y una dinámica particular de diseminación de una plaga determinada, utiliza todas las técnicas y métodos posibles (por ejemplo, control químico, control cultural, regulación biológica o control microbiológico) para mantener la población de plagas por debajo de los niveles que puedan causar pérdidas económicas (Darus & Wabid, 1999).

En palabras de Lizarazo (2011) “Existen dos elementos claves para el manejo integrado de plagas: la realización de muestreos para monitorear el nivel de diseminación de la plaga y la definición del umbral de población por encima del cual la productividad del cultivo se afecta de manera sustancial” (p.128).

Antes de poner en marcha un proyecto agrícola se debe considerar que la selección de las variedades de especies a colocar depende directamente de las condiciones climatológicas específicas de la zona. Algunos de las condiciones que se deben considerar son: la cantidad de agua de lluvia, el tipo de suelo disponible, la cantidad de agua requerida para el crecimiento de la planta, el volumen de agua retenido por el suelo, además del ciclo vegetativo del cultivo.

Actualmente existen algunos servicios (tanto públicos como privados) enfocados a poder a disposición los datos climatológicos los cuales son utilizados para señalar, monitorear y supervisar las condiciones que afectan el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

También existen redes de estaciones meteorológicas, las cuales son un conjunto de estaciones automatizadas colocadas a lo largo de una determinada zona, recogen los datos de forma continua para posteriormente ser puestos a disposición de los interesados. El conocimiento de esta información es de utilidad hacia los agricultores para: los cálculos de

necesidades de riego, cálculos de humedad y sequía en cultivos, control de la acumulación de unidades de frío y calor de sus cultivos, predicción para la aparición de plagas y/o enfermedades, pronósticos para las cosechas, elección de la fecha de siembra, elección de días para fertilización o cualquier laboreo (Cabral, 2012),

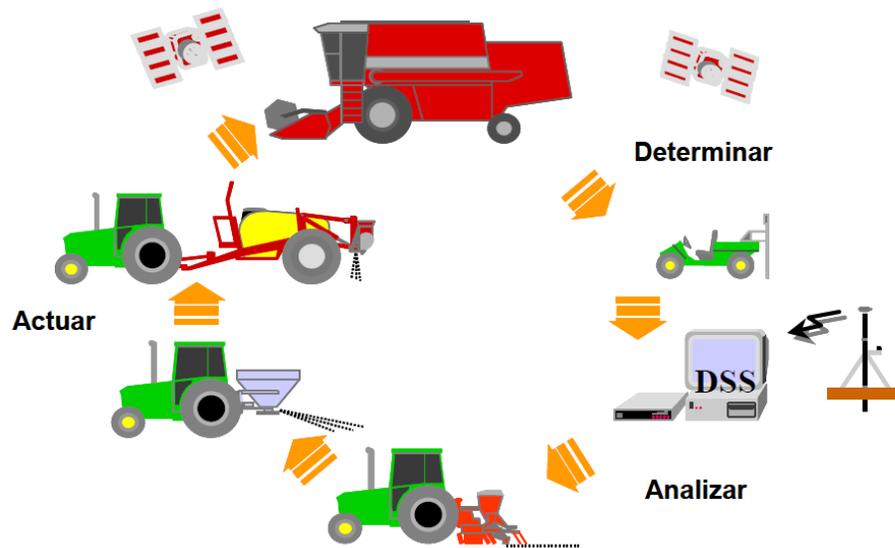
Es importante señalar que el desarrollo y posterior implementación de dichas estaciones automáticas ya es una realidad en el campo mexicano. Sin embargo, en la actualidad los sistemas comerciales más utilizados cuentan con funcionamiento limitado debido a que para la fase de procesamiento de la información, utilizan bases de datos generalizadas. Dichas bases de datos no cuentan con los requerimientos específicos para las plantaciones, esto provoca que la información de los parámetros de entrada no coincida con la información de salida deseada.

Con base a lo citado anteriormente, si se desea introducir al mercado un producto nuevo, este debe de estar sustentado con un estudio que refleje la situación actual del mercado en el cual se determine la viabilidad, así como la factibilidad del producto o sistema.

Además, la AP colabora con algo fundamental para el ser humano: el cuidado de los recursos naturales, las nuevas tecnologías permiten que los productores agrícolas tengan una mejor utilización del agua, o que puedan aumentar el rendimiento de los insumos agrícolas aplicados a su campo de cultivo.

### **1.3 Sistemas de agricultura de precisión**

La modulación basada en la utilización de cartografías de predicción probablemente se trate del sistema más conocido y el que primero se desarrolló. Basado en el famoso ciclo de la agricultura de precisión (Fig. 1) esta metodología se apoya fundamentalmente en dos principios: conocimiento exacto de la posición del móvil en la parcela en un instante determinado y toma de decisiones a partir del análisis de una cantidad más o menos importante de información obtenida a lo largo de los años. (Gil, 1997)



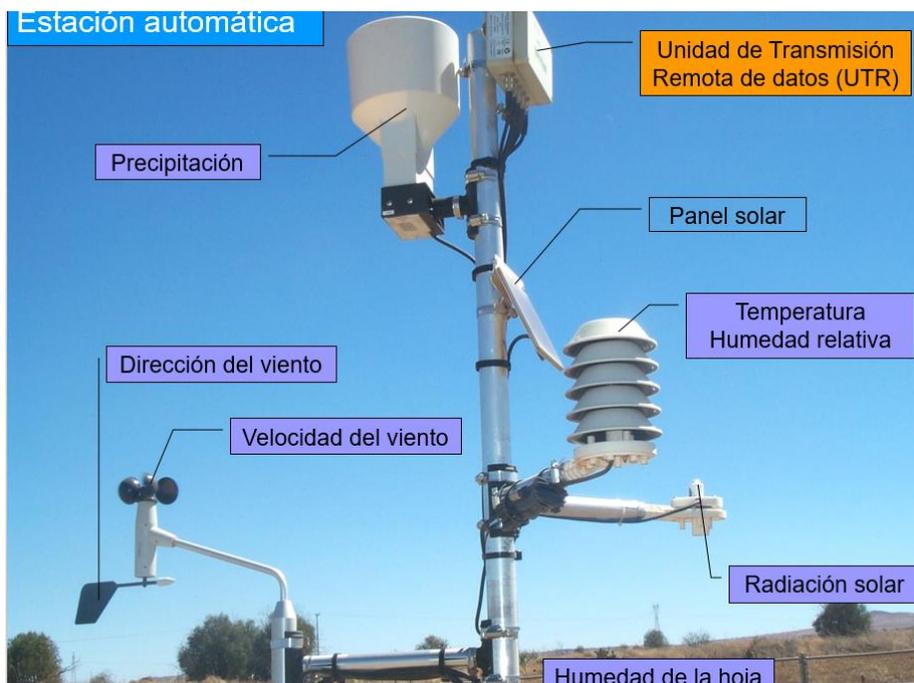
**Figura 1. Ciclo básico de la agricultura de precisión Fuente: Gil, 1997**

Los sistemas de agricultura de precisión también pueden ser basados en una red de estaciones meteorológicas automáticas que equivale a un conjunto de estaciones meteorológicas localizadas en diferentes puntos geográficos y accionadas en forma remota desde un servidor central, mediante un sistema de comunicación que conecta el computador con el captador de datos (data logger) que tiene la estación. Una estación meteorológica automática registra en forma sistemática y programada la toma de datos meteorológicos de acuerdo al interés de su propietario y a la capacidad del equipo computarizado y de los sensores electrónicos (Maldonado, 2006).

La tecnología de adquisición de datos utiliza sistemas para detectar eventos, recopilar datos, medir cambios que ocurren en el ambiente físico y recolectar información la cual es procesada por un sistema de control.

“La agricultura sustentable se puede lograr, pero para ello se requiere monitorear los impactos de la producción, que van desde la predicción del rendimiento, el monitoreo de salud de los cultivos, el registro de datos de los agricultores y sus cultivos, la base de datos de la fecha de siembra-cosecha y la optimización de la cadena de suministro: agricultores, seguro de cosechas, organismos de riego, procesamiento y entidades gubernamentales”. (Gurusamy, 2018)

La composición de una estación climática típica, la cual puede o no contener todos los sensores este dato puede variar de región a región, en particular las estaciones comúnmente utilizadas en el sector agrícola contienen un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un sensor de dirección de viento, un medidor de velocidad de viento, un panel fotovoltaico para su alimentación, así como una unidad de transmisión remota de datos (Fig.2).



**Figura 2. Componentes básicos de una estación meteorológica Fuente: INIFAP, 2020**

En los últimos años se aprecia un incremento en el uso de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) (estaciones en las cuales las observaciones son realizadas y transmitidas automáticamente), especialmente en el ámbito agrícola e hidrológico, donde algunas de las aplicaciones específicas son sistemas de alertas de heladas y de plagas (Fernández *et.al.* 1987; Elinger, 1990).

Como soporte al manejo estratégico y táctico de las enfermedades, se construyen sistemas de pronóstico o modelos predictivos de las mismas, fundamentados en factores ligados al hospedante, al patógeno y al ambiente, en forma individual o interaccionando (Salgado, 2017). En la actualidad se disponen modelos matemáticos cuantitativos que abarcan desde simples ecuaciones predictivas de la enfermedad basados en las condiciones meteorológicas hasta complejos sistemas que combinan modelos fenológicos del cultivo con los de la epidemia. Muchos sistemas funcionales de pronóstico ayudan al productor agrícola a tomar las mejores

decisiones entre alternativas de manejo. Es frecuente la disponibilidad de sistemas predictivos que sustentan el uso de fungicidas de acuerdo con su necesidad en contraste a los tratamientos de seguridad o rutinarios.

También es posible mencionar algunos otros ejemplos de sistemas de agricultura de precisión como son:

- Captadores de rendimiento
- Sensores para adquisición de información específica (suelo, planta, clima)
- Sistemas de localización GPS
- Sistemas de riego automático
- Sistemas de información geográfica (SIG)
- Cartografía mediante el uso de drones

En este capítulo se presentan algunos trabajos y publicaciones que contienen información de vanguardia en el área de la agricultura de precisión basada en sistemas de Internet de las Cosas (IoT), dichos documentos se tomaron como base para el desarrollo del sistema para supervisión de cultivos agrícolas. Se detallan cada una de las etapas que guiaron la investigación, así como los instrumentos empleados para el diseño y construcción de la estación meteorológica, además de aquellos procesos encargados de la recolección de los datos meteorológicos y el análisis de la información.

Tradicionalmente la agricultura es administrada a base de una serie de “recomendaciones generales” dirigidas a los campos de cultivo completos, esto debido a la dificultad que representaría el generar recomendaciones específicas para cada planta, tomando una pequeña muestra y extrapolando al resto del campo de cultivo. “Ese tipo de manejo ha conllevado a procesos de degradación ambiental y de ineficiencia en el uso de los recursos disponibles, trayendo consigo un desarrollo limitado de la potencialidad del cultivo y altos costos de producción. Actualmente se requiere que la producción agrícola minimice los impactos ecológicos negativos de sus actividades y sea competitiva en mercados globalizados cada vez más exigentes en precios y calidades” (Fabio R, 2003).

La AP se cimienta sobre la variabilidad que puede ser encontrada al largo del proceso productivo. Esa variabilidad fue clasificada por Godwin, en: “variabilidad natural, inducida, espacial y temporal. La variabilidad natural se debe a procesos de la naturaleza, como en el

caso de los diferentes tipos de suelos, el clima, la topografía y las especies vegetales y animales. La variabilidad inducida es aquella debida a prácticas antrópicas, como en el caso de los diferentes niveles de conservación de suelos, micro topografía de un lote agrícola, tipos e intensidades de compactación. En algunos casos, esta diferenciación no es completamente clara y la variabilidad ocurre debido a interacciones complejas entre procesos naturales y antrópicos. Tal es el caso de la fertilidad de un suelo agrícola, la cual depende de los procesos de génesis del mismo y del manejo dado por el productor” (2001).

La agricultura de precisión parte de un concepto novedoso que busca optimizar el manejo de la producción agrícola teniendo en cuenta la variabilidad del agroecosistema. De esta manera se establecen estrategias para usar los insumos necesarios en la cantidad requerida, en el sitio adecuado y en el momento oportuno, su desarrollo se basa en tecnologías electrónicas, de telecomunicación y de informática y en equipo agrícola especialmente adaptado para la aplicación diferenciada de insumos según las necesidades del cultivo o del suelo (Fabio R, 2003).

Dadas las características de la información generada, la AP necesariamente exige una visión sistémica que permita analizar de una manera integrada los diferentes procesos (algunos bastante complejos y poco entendidos) y variables que afectan la producción agrícola (Zhang et al., 2002)

En las entrañas mismas de la AP está la generación de información confiable, detallada y específica por sitio para identificar, cuantificar y de ser posible encontrar las causas de la variabilidad del agroecosistema. (Fabio R, 2003)

A continuación, se presentan un conjunto de trabajos relacionados con la presente investigación, bajo la temática del uso de dispositivos IoT y sus aplicaciones que van desde desarrollos industriales, hogareños y hasta el desarrollo de cloud computing.

Un ejemplo de una arquitectura de IoT basada en las especificaciones de la plataforma de comunicaciones abierta es la presentada por The Free Library (2014) en donde el objetivo de autor fue “brindar una arquitectura que pueda usarse en entornos industriales formada por módulos principales: el servidor de datos y la aplicación de Interfaz humano maquina (HMI) en

donde el servidor obtiene datos de una red de sensores y envía comandos a los actuadores conectados en los buses de campo” (2014).

Datta et al. (2014) proponen una arquitectura IoT centralizada para aplicaciones dentro del campo de la agricultura para ofrecer nuevos servicios Machine to Machine (M2M), la cual permite la interacción en tiempo real entre clientes móviles y objetos inteligentes (sensores y actuadores) a través de una pasarela inalámbrica.

El IoT se considera una red de objetos tales como sensores y actuadores conectados a Internet a través de redes fijas e inalámbricas donde pueden capturar datos de forma autónoma y autoconfigurable de forma inteligente basada en hechos del mundo físico; permitiendo que estos sistemas se conviertan en participantes activos en diversos procesos públicos, comerciales, científicos y personales (Fundación de la Innovación Bankinter, 2011).

A continuación se presenta una propuesta de arquitectura vista desde las cuatro capas asociadas a la arquitectura Lambda (Ver figura 3).



**Figura 3. Vista de la arquitectura IoT Fuente: Datta, 2014**

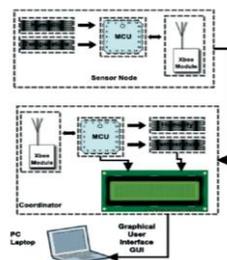
La primera capa es la encargada del procedimiento para la adquisición de los datos correspondientes a las variables meteorológicas, todo esto a través de uso de sensores. La segunda capa, tiene por objetivo el recibir los datos para posteriormente almacenarlos en una plataforma ubicada en la nube. La capa de procesamiento se encarga de analizar estos datos

por medio de la herramienta de minería de datos (A través de la cual es posible la generación de predicciones y recomendaciones) Finalmente, la capa de consulta es la encargada de la monitorización de las condiciones del cultivo y visualización de la información entregada por la capa de procesamiento (Quiroga, 2016).

El IoT es impulsado por una combinación de métodos y procesos que comprenden la utilización de sensores, una red y un dispositivo final, los cuales tienen como objetivo principal proporcionar al usuario final una representación de los datos de una manera visual, legible y práctica. Cuando se habla de IoT enfocado en la agricultura no sólo se hace referencia a dispositivos móviles como tabletas o drones, pues este concepto implica una interconexión de sistemas agrícolas de comunicaciones compatibles y colaborativos que comparten información (Fundación de la Innovación Bankinter, 2011).

Los “Wireless Sensor Network” (WSN), son “la comunicación de dos o más sensores que monitorean cooperativamente grandes entornos físicos, formando así una red de sensores inalámbricos (WSN)” (Ossa Duque, 2017). Los nodos de sensores se comunican no sólo entre sí, sino también con una estación base por sus radios inalámbricos, lo que les permite difundir sus datos de sensores para un procesamiento remoto, visualización, análisis y sistemas de almacenamiento” (Manotas, 2014). “Estas redes normalmente se encuentran desplegadas en zonas remotas e inaccesibles, en los cuales conjuntos de nodos sensoriales que se distribuyen en el terreno y lo que básicamente hacen es trabajar de manera coordinada y de esta forma poder monitorizar los parámetros elegidos” (Dargie, 2010).

Los dispositivos son aparatos capaces de funcionar por sí mismos, que están conformados por un microcontrolador, una fuente de energía, un módulo de comunicaciones y una serie de sensores, como se puede observar en la figura 4. El equipo de cómputo es utilizado para la visualización gráfica de los valores medidos por medio de una interfaz con el usuario (Suárez, 2014).



**Figura 4. Diagrama esquemático del sistema de monitoreo inalámbrico Fuente: Suarez 2014**

Teniendo en cuentas las diferentes aplicaciones que pueden encontrarse para las WSN, se menciona para el caso una aplicación en el campo de la agricultura (para ello se muestran las etapas que utilizan en la agricultura de precisión), la cual consta de seis capas que se comunican y conectan entre sí, las cuales son: base de datos/archivo, computación en el laboratorio, comunicaciones, procesado de campo, sensor y ambiente físico (Villon, 2009). Así mismo, en la tabla número 1, se muestra una variada compilación de las aplicaciones de WSN.

**Tabla 1 Aplicaciones más comunes de sistemas WSN**

<b>Aplicaciones Medioambientales</b>	<b>Aplicaciones Médicas</b>	<b>Otras</b>
Seguimiento de animales	Tele monitorización de datos fisiológicos en pacientes	Aplicaciones en el hogar/edificios
Monitorización de las condiciones ambientales en cultivos	Diagnóstico	Domótica
Sistemas de riego automático	Seguimiento de médicos y pacientes en hospitales	Control de electrodomésticos
Agricultura de precisión		Entornos inteligentes
Detección de incendios forestales		Control ambiental
Detección de inundaciones		Aplicaciones industriales
Estudios de contaminación		Seguimiento de vehículos
Prevención de desastres		
Estudios sísmicos		

Fuente: Archila, 2013

Cuando se trata del uso de las WSN en el campo de la agricultura se tiene el monitoreo y control de parámetros importantes en los invernaderos lo que contribuye a que cada vez éstos estén más automatizados y sus condiciones más controladas para garantizar la correcta maduración de los alimentos (Sung & Lin, 2014).

#### **1.4 Casos de éxito**

En la actualidad, el sector agropecuario vive un proceso de modernización e inserción a una economía abierta y competitiva, que requiere de nuevas estrategias que permitan reducir al máximo aquellas incertidumbres que arriesguen sus resultados productivos.

La agricultura de precisión está basada en el reconocimiento de la variabilidad espacial y temporal del clima, los suelos y los cultivos, y consecuentemente, de la importancia de proporcionar un manejo agronómico específico que tenga en cuenta esas diferencias (Lizarazo, 2011).

La meta final de la agricultura de precisión dentro de esta aplicación es que el manejo agronómico sea lo más específico posible; es decir, a nivel de cada lote y, en algunos casos, a nivel de cada palma. Para que esta meta se pueda cumplir, un requerimiento básico es la creación de un sistema de información para el manejo agronómico cuyos principales componentes deben incluir Un subsistema de adquisición de datos en campo que usualmente incluye el uso de equipos de posicionamiento global satelital (GPS), estaciones agrometeorológicas y dispositivos móviles de captura de datos, Un subsistema de almacenamiento de datos, que suele incluir el uso de un manejador relacional de base datos (DBMS), Un subsistema de producción y análisis de información, que usualmente incluye el uso de un programa para el manejo de información geográfica (SIG) (T. Fairhurst, 2003).

Dicho sistema debe apoyar actividades como el monitoreo de la sanidad de las palmas, el seguimiento de la producción, la aplicación de fertilizantes y, eventualmente, la programación de riegos, teniendo en cuenta la variabilidad espacial y temporal de cada unidad del cultivo (T. Fairhurst, 2003).

El centro de investigación “Cenipalma”, activamente realiza investigaciones sobre las diferentes fases del cultivo: la planeación, la adecuación y la preparación de los suelos, la producción del material de siembra, el establecimiento, el manejo del cultivo, al igual que la cosecha y la postcosecha del fruto.

En el artículo publicado por Lizarazo (2011) se ilustran dos ejemplos de aplicación de la agricultura de precisión: el primero es “Trazado automático de plantaciones” y el segundo

trabajo titulado “Apoyo de tecnología de información para el manejo de plagas y enfermedades”. Para efectos prácticos concernientes al tema de investigación planteado en esta tesis únicamente se presentan los resultados obtenidos en la segunda aplicación la cual corresponde a la sección de “Manejo de plagas y enfermedades”.

El cultivo de palma de aceite en Colombia es afectado por varios tipos de enfermedades e insectos plagas que ocasionan pérdidas de importancia económica. Cada una de las zonas palmeras de Colombia (norte, central, oriental y occidental) tiene diferentes condiciones agroclimáticas que favorecen la aparición y/o el desarrollo de enfermedades y plagas.

En esta zona el problema sanitario de mayor importancia económica es el ataque de insectos como los lepidópteros ***Opsiphanes cassina***, ***Stenoma cecropia*** y ***Euprosterina elaeasa***, que por su elevada capacidad defoliadora pueden originar considerables daños en la planta en poco tiempo (Cenipalma). No se conoce con certeza en qué época del año hay mayor prevalencia de estos insectos ni la existencia de diferencias significativas de sus poblaciones durante los fenómenos de “El Niño” y “La Niña” (Lizarazo, 2011).

En Cenipalma, el manejo integrado de plagas está orientado a tres acciones principales:

- Manejo apropiado del cultivo, de la vegetación y del ecosistema circundante para prevenir la aparición de las plagas.
- Realización de muestreos para detectar la aparición de focos.
- El manejo de los focos detectados.

Un manejo apropiado del agro sistema del cultivo de palma de aceite empieza por una adecuada georreferenciación de los objetos que constituyen el cultivo; es decir, la plantación, los lotes, las líneas de palma (líneas-palma) y las palmas individuales. Por georreferenciación, se entiende la localización en el espacio geográfico de los objetos asociados al cultivo. La georreferenciación de las plantaciones, de los lotes y de las líneas-palma se puede realizar utilizando receptores GPS.

La información geográfica almacenada en el sistema debe mantenerse actualizada con el propósito de que los usuarios puedan tomar decisiones apropiadas para el manejo agronómico de la plantación, tales como mantener una cobertura vegetal apropiada, controlar la aparición de malezas, preservar la vegetación natural circundante, realizar podas, programar el riego y la fertilización, asegurar un drenaje adecuado del lote, entre otras.

Adicionalmente, es fundamental contar con datos de variables meteorológicas que ayuden a monitorear el tiempo atmosférico, conocer la dinámica de cambio climático y establecer riesgos de infestación asociados a eventos meteorológicos extremos. Por ello, en la zona central palmera se ha instalado una red de diez (10) estaciones meteorológicas, las cuales transmiten automáticamente datos de radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa.

El manejo de los focos de plagas que se detecten en los censos muestrales tiene que ver con la decisión de intervenir cuando la población de insectos supera el umbral económico de daño y se requiere realizar alguna acción de control biológico, microbiológico, cultural o químico. Para apoyar decisiones apropiadas el sistema de información provee reportes gráficos y tablas y dispara alertas tempranas cuando se alcanzan los niveles críticos asociados a cada plaga.

Durante el año 2010, se realizó la georreferenciación de 325,000 hectáreas de cultivos de palma establecidos en el territorio nacional. Los datos estructurados se almacenaron en una base de datos MySQL y pueden ser consultados por los usuarios usando aplicaciones de software SIG de escritorio y mediante una interfaz web.

La existencia de una red de estaciones meteorológicas en la zona central ha permitido iniciar el registro del comportamiento del tiempo atmosférico. Al mismo tiempo, se están desarrollando estudios para la determinación del ciclo de vida de los insectos más dañinos. Aunque la influencia de las variables meteorológicas en la población de insectos es bien conocida estos estudios apuntan a determinar cuáles son las variables claves que afectan su crecimiento y desarrollo, y cuáles son los umbrales que exacerbaban las plagas y enfermedades.

Por último, Lizarazo (2011) concluye que, “el análisis preliminar de los datos provenientes de las estaciones meteorológicas ha permitido establecer la hipótesis de que la incidencia de la enfermedad **Pudrición de Cogollo** (PC) aumenta significativamente cuando la precipitación mensual es mayor de 300mm. Aunque se requieren experimentos adicionales para confirmar esta hipótesis, los indicios preliminares permiten establecer alertas para intensificar las acciones de diagnóstico y control de esta enfermedad. En cuanto al manejo de plagas y enfermedades, se demuestra que el uso apropiado de tecnologías de información geográfica, tales como GPS y SIG, contribuye a mejorar el manejo agronómico, la detección de focos y el control de plagas y enfermedades” (p.130).

El uso de la monitorización y mapeo de la variabilidad del suelo se impulsó en algunos países, como Australia, mediante campañas publicitarias. En otros países, como Japón, el Ministerio de Agricultura ha realizado inversiones para desarrollar investigaciones en AP enfocadas a la obtención de procesos agrícolas más automatizados. Sin embargo, y a pesar de estos grandes esfuerzos, sólo una pequeña parte de los agricultores del mundo utilizan prácticas de precisión (Kreimer, 2003).

En Europa la agricultura ha experimentado algunas transformaciones en los últimos años: los pequeños productores han cambiado y a su vez, los grandes productores están creciendo. Por tal razón se está intentando incrementar el beneficio económico para estimular el uso de los sistemas de AP en los productores (Nelson, 2007).

Existen algunos estudios que sugieren que el patrón de adopción de la Agricultura de Precisión puede ser lento y disparejo, comparado con otras tecnologías agrícolas (Lowenberg-DeBoer, 1998), ya que las tecnologías que utiliza la AP han llegado inmaduras al mercado y muchas empresas han utilizado a los productores para realizar las pruebas de sus equipos y se necesita tiempo para obtener las conclusiones propias de las pruebas (Lowenberg - DeBoer, 2001).

En Bolivia, la AP se ha orientado a cultivos extensivos, mayoritariamente en el departamento de Santa Cruz, ya que es la zona donde se concentra la agricultura mecanizada e intensiva. Entre las tecnologías que se usan en Bolivia se tienen los monitores de rendimiento, los banderilleros satelitales, la percepción remota, los SIG, los navegadores satelitales y las estaciones meteorológicas automatizadas (Mejía, 2006).

México emplea técnicas de AP para el cultivo de caña, (Ingenio Central Progreso, 2009) y para cuantificar la variabilidad espacial y temporal de varios factores ambientales que inciden en la productividad de alfalfa en sistemas irrigados, mediante el monitoreo de dichos factores a través de los sistemas de sensores en el suelo y la atmósfera (Gutiérrez, García, 2003) .

En Perú, se utilizan sensores remotos que captan imágenes de los cultivos desde una baja altura. Para ello se utilizan diversos tipos de aeronaves no tripuladas radio-controladas, que cuentan con tecnologías de adquisición de imágenes multiespectrales, sistemas de

posicionamiento geográfico y sistemas de comunicación para la transmisión de las imágenes a tierra (Periódico Digital El Comercio, 2008).

Los beneficios de la utilización de la AP pueden ser considerables en aspectos técnicos, ecológicos y económicos. El reconocimiento y la evaluación detallada de variables en sitios específicos posibilitan monitorear y corregir problemas identificados e incluso detectar nuevos problemas (Sung & Lin, 2014).

En un estudio de cinco años para evaluar el potencial de la AP en cereales en Inglaterra, detectaron problemas (inicialmente no contemplados en su investigación) relacionados con encharcamientos y errores en la aplicación de fertilizantes, que representaban limitantes importantes para el desarrollo del cultivo e incrementaban sensiblemente los costos de producción. Esto indica que un mejor entendimiento del proceso productivo, con mayor y más confiable información, facilita la toma de decisiones y por ende la gestión del negocio agropecuario (Godwin, 2001).

Desde el punto de vista ecológico, se pueden obtener beneficios en la medida en que se haga un uso más racional de los insumos agrícolas. Un caso típico lo representa la fertilización específica por sitio, en la cual se aplica en el momento oportuno, la cantidad necesaria en el sitio requerido, permitiendo que las plantas los tomen sin que éstos se pierdan en el ambiente (Auerhammer, 2001).

### **1.5 Limitantes para la adopción de tecnologías AP**

Como se puede observar en la tabla 3, existen algunos dispositivos dentro del mercado los cuales a primera vista parecen ser capaces de llevar a cabo las funciones de monitoreo de variables agroclimáticas sin embargo existen algunos factores que limitan la adopción de estas tecnologías extranjeras dentro del país como son:

- Las estructuras informáticas para los que fueron diseñados son diferentes
- Precio elevado
- Están diseñados para operar con información de otros cultivos
- Las condiciones topográficas son diferentes
- Los cultivos presentan plagas y enfermedades distintas

- Los cultivos tienen diferentes ciclos vegetativos

Actualmente la mayoría de las estaciones agrometeorológicas no son capaces de interpretar la información obtenida únicamente son sistemas que realizan la adquisición de datos y dependen de un especialista en actividades agrícolas típicamente un Ingeniero Agrónomo o algún otro especialista en el área agrícola, para hacer inferencias sobre los datos registrados para que posteriormente el encargado o dueño del cultivo proceda a tomar acciones apropiadas.

De acuerdo con Santillán y Rentería, “en México el uso de la AP podría reportar beneficios económicos (para agricultores, industria y gobierno), sociales (para asegurar la disponibilidad de alimento suficiente) y ambientales (para reducir el riesgo de contaminación por agroquímicos), como los observados en otros países que la han adoptado” (2018).

Sin embargo, el desarrollo de sistemas de AP en México se encuentra limitado debido a que:

- Dependen de tecnología especializada.
- Su ejecución requiere esfuerzos multidisciplinarios entre ciencias agrícolas, sistemas de información, ingeniería y robótica (Maohua,2011).
- En la actualidad México no forma parte de la Sociedad Internacional de Agricultura de Precisión (ISPA).

Todo esto provoca que el campo mexicano se encuentre en estado de desfase en cuanto al uso de las tecnológicas de agricultura de precisión en el campo.

### **1.6 Análisis del mercado y tendencias clave**

De acuerdo con una investigación realizada por Huawei X Labs y posteriormente analizada por CipherXi, (2017), para 2022, la agricultura en China estará en medio de una transformación tecnológica. La agricultura inteligente permitirá a los agricultores cultivar y administrar cultivos sin intervención humana y utilizar la alimentación continua de inteligencia e información para aumentar la eficiencia, la utilización de recursos y rendimiento de cultivos.

La investigación realizada por Huawei X Labs predice que se espera que el mercado total direccionable para la agricultura inteligente crezca de US \$13.7 mil millones en 2015 a US \$ 26.8 mil millones en 2022.

El desarrollo de la agricultura de precisión que define la gestión de parcelas con base en la observación, la medida y actuación frente a la variabilidad de cultivos, y apoyado con tecnologías de IoT es una necesidad si, de acuerdo con la FAO de la ONU, para 2050 la producción mundial de alimentos debería aumentar en un 70% para alimentar a 9.600 millones de personas. Las compañías están aumentando y difundiendo el conocimiento sobre la agricultura inteligente como una de las aplicaciones clave en el mercado de IoT, que ofrece una visión profunda de cómo las redes de sensores inalámbricos pueden impactar en la reducción de las pérdidas de cultivos y el aumento de la producción (LIBELIUM, 2017).

El Consejo Agropecuario confirma que el campo jalisciense ha incorporado sensores, membranas, micro goteo y el uso inteligente de datos y herramientas de análisis para incrementar el rendimiento de los cultivos de berries y mejorar el sistema de trabajo de las plantaciones. (Palos, 2017)

En México el sector agrícola tiene un compromiso relevante en la economía, además de un impacto social significativo, pues la agricultura favorece a creación de actividades económicas y al aprovechamiento de áreas rurales.

“Se busca la adaptabilidad de los sistemas de producción para alcanzar mejores rendimientos y la eficiencia de los cultivos, aplicando la optimización del uso de agua, fertilizantes y fitosanitarios” (Larrazabal, 2018).

Las agroexportaciones nacionales en México son encabezadas por la cerveza, le sigue el aguacate, y luego las berries; en un cuarto sitio se ubica el tequila, Las frutillas que produce México y son consideradas en el mercado mundial como berries son: fresa, zarzamora, arándano y frambuesas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2021).

El sector agroalimentario está en un proceso de avance continuo, generado por la irrupción de las nuevas tecnologías tanto en el proceso de cultivo de los diferentes alimentos, como en el de procesamiento y distribución de los mismos (Larrazabal, 2018).

De acuerdo a datos publicados por (Arana-Coronado, 2019), México es el exportador principal de fresa a EE.UU. con cerca de 95 % del volumen total de las importaciones del producto.

El directivo de ANEBERRIES informó que la producción de estos frutos creció un 16 por ciento con relación al periodo inmediato anterior, y el mercado nacional de berries está valuado actualmente en 400 millones de dólares (Huerta, 2019).

De acuerdo con (Huerta,2019) México produce 800 mil toneladas de berries en 21 estados del país, en una superficie global de 44 mil hectáreas, pero el 96.8 por ciento de las frutillas se cultivan en Michoacán, Baja California y Guanajuato, además de Jalisco.

En el estado de Michoacán se producen cerca de 260 mil toneladas de zarzamora, cantidad que le da el liderazgo mundial en la producción de esta frutilla, obtenida de una superficie cultivada estimada de 12 mil hectáreas (SEDRUA, 2020).

Se trata de una actividad con alto impacto socio-económico; ya que se estima la generación de al menos 3 empleos directos por hectárea, que se traducen en al menos 37 mil 500 empleos (SEDRUA, 2020).

En el contexto productivo, el 89.78% de la superficie cultivada se encuentra mecanizada (utiliza algún medio de producción diferente al método manual) y de estas el 56.86% es de temporal (utiliza métodos de riego naturales) (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2017). La tabla número muestra algunas estimaciones proyectadas a la producción de fresa en México, se puede observar que es un mercado que está en constante expansión.

Actualmente, no sólo se busca implementar sistemas de producción orientados al logro de un mayor rendimiento, sino que también se busca que reduzcan el impacto negativo de ciertas prácticas, aprovechando las condiciones agroecológicas particulares de cada sitio e incrementando las ganancias (Ovalles, V. 2006).

**Tabla 2 Producción de frutillas tipo berries en México**

Año/periodo	Estimaciones			Crecimiento acumulado (estimado)			Crecimiento anual promedio (estimado)	
	2016	2018	2014	2030	2003-2016	2016-2024	2016-2030	
Producción potencial (miles de toneladas)	468.25	485.93	538.98	220.70%	3.78%	10.92%	26.44%	1.48%

Fuente: SAGARPA 2017

El conocimiento sobre las interacciones ambientales es esencial para la planificación estratégica y las decisiones agrometeorológicas en distintas escalas temporales que pueden ser más objetivas si se dispone de información agrometeorológica (Basualdo, 2016). Sin duda, el monitoreo y la generación de modelos aplicados, que interpreten y permitan el desarrollo de

sistemas de alerta climática responde a una necesidad específica del productor, especialmente cuando su objetivo no solo es producir sino ajustarse a exigencias cada vez mayores de calidad y oportunidad (Maldonado, 2006). “El uso de información meteorológica en el pronóstico de enfermedades y seguimiento del crecimiento de los cultivos ha proliferado en los últimos años y posee grandes ventajas e innumerables aplicaciones” (Secor *et al.*, 2006). Por ello se aprecia un incremento en el uso de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) (estaciones en las cuales las observaciones son realizadas y transmitidas automáticamente), especialmente en el ámbito agrícola (Fernández *et al.*, 1987; Elinger, 1990).

### **1.7 Publicaciones Y Patentes**

En la fase de protección se consideran los mecanismos de protección de conocimiento, tipos de derechos de propiedad industrial e intelectual, realizándose un análisis de protección para la tecnología, así como los procedimientos legales para obtener los derechos legales para los, utilizando algunas herramientas como son:

- Vigilancia Tecnológica. Se define como proceso organizado, selectivo y permanente, orientado a recolectar información ya sea del exterior como de la misma organización sobre ciencia y tecnología, para posteriormente analizarla y comunicarla, con el propósito de utilizar la información como base para tomar decisiones además de intentar amortiguar los cambios del entorno.
- Análisis de patentes. El cual se realiza a través de tres pasos: a) Inicia a través de la consulta de base de datos nacionales e internacionales, lo que permite obtener información de las patentes relacionadas con el estado de la técnica de la tecnología.

En la tabla 2 se muestran las principales bases de datos a través de las cuales se pueden consultar las patentes relacionadas con el estado de la técnica de la tecnología con la cual se está trabajando de tal manera que permita realizar un análisis de la tecnología, identificando las principales características o elementos que diferencian a la tecnología de lo ya existente.

**Tabla 3 Base de datos de consulta**

<b>Nacional</b>		
<b>PAIS</b>	<b>OFICINA</b>	<b>PAGINA</b>
México / SIGA	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial	<a href="http://siga.impi.gob.mx">http://siga.impi.gob.mx</a>
<b>Internacional</b>		
<b>BASE DE DATOS</b>	<b>OFICINA</b>	<b>PAGINA</b>
OMPI /Patent Scope	World Intellectual Property Organization (WIPO), Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI)	PATENTSCOPE
Estados Unidos / PatFTAppFT	United States Patent and Trademark Office (USPTO). Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos de Norteamérica (US).	<a href="http://patft.uspto.gov/">http://patft.uspto.gov/</a>
EPO /LATIPAT	Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM), Base de datos de Invenciones Latinoamericanas (LATIPAT)	<a href="http://lp.espacenet.com/">http://lp.espacenet.com/</a>
EPO /Espacenet	European Patent Office (EPO), Oficina Europea de Patentes (OEP), Base de datos en Internet ESPACENET. (Información mundial)	<a href="http://ep.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP">http://ep.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP</a>
España / INVENES	Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). España (ES)	INVENES
China / SIPO /PSSS	China Patent Trademark Office (CPTO). Oficina de Patentes y Marcas de China	SIPO
Japón / JPO	Japan Patent Office (JPO), Oficina de Patentes de Japón (OPJ) Japan Platform for Patent Information	J-PLATPAT
Reino Unido / UKIPO	Intellectual Property Office, United Kingdom (UK), Oficina de Propiedad Intelectual, Reino Unido	UKIPO
Internet		Varias

b) Posteriormente se realiza un análisis de la patente a través de un check list donde se da a conocer la tecnología e identifican los principales elementos o características a diferenciar en cada una.

c) Se revisan las diferentes figuras de propiedad intelectual que se manejan en el país para determinar cuál es la más viable para la tecnología en estudio.

En México, la Ley que tiene por objeto, entre otros, la protección de la propiedad industrial “mediante la regulación y otorgamiento de patentes de invención; registros de modelos de utilidad, diseños industriales, marcas, y avisos comerciales; publicación de nombres comerciales; declaración de protección de denominaciones de origen, y regulación de secretos

industriales” es la Ley de la Propiedad Industrial (LPI), (Diario Oficial de la Federación, 1991). La última reforma se publicó el 9 de abril de 2012, y su Reglamento que fue publicado el 23 de noviembre de 1994 y fue reformado por última vez el 10 de junio de 2011. De manera complementaria, el 14 de diciembre de 1994 se publicó el Acuerdo que establece las reglas para la presentación de solicitudes ante el IMPI, que fue modificado el 23 de julio de 2012. De acuerdo con esta Ley, la autoridad responsable de la administración, difusión, otorgamiento y protección jurídica de los derechos de propiedad industrial es el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

En México, las figuras de protección industrial están definidas principalmente en la Ley de la Propiedad Industrial (LPI). A continuación, se describen algunas de las más importantes:

- a) Patente. Privilegio legal que concede el estado a una persona física o moral para utilizar en forma exclusiva y durante 20 años improrrogables una invención que haya sido desarrollada por dicha persona. Para su otorgamiento debe cumplirse con los requisitos de novedad, actividad inventiva y aplicación industrial (Cap. II LPI. Art. 15).

Las etapas a desarrollar en el proceso de patente ante el IMPI son:

1. Identificación de la tecnología para realizar la;
2. Búsqueda del estado de la técnica en la materia relacionada con el producto o tecnología desarrollada a nivel nacional e internacional
3. Análisis de la información de la técnica con la información de tecnología
4. Redacción de patente de la tecnología
5. Pago de la solicitud de patente
6. Presentación de la solicitud de patente a nivel nacional
7. Atención de las observaciones de fondo y forma
8. Redacción de patente para presentación a nivel internacional (PCT)
9. Pago de tasas de transmisión internacional y búsqueda
10. Presentación de solicitud internacional PCT
11. Recibir informe de búsqueda internacional y opinión escrita
12. Atención de las observaciones
13. Publicación de solicitud PCT con reporte de búsqueda internacional
14. Entrada de la solicitud PCT en algunas oficinas

En México, según el Art. 15 de la LPI, se considera invención: “Toda creación humana que permita transformar la materia o la energía que existe en la naturaleza, para su aprovechamiento por el hombre y satisfacer sus necesidades concretas”. Para que dicha creación sea patentable deberá haber intervenido el ser humano, no es aceptable como patente el descubrimiento de algo que ya exista en la naturaleza.

- b) Modelo de utilidad. Es el objeto, utensilio, aparato o herramienta que, como resultado de un cambio en su disposición, configuración, estructura o forma, presenta una función distinta respecto a las partes que lo integran o ventajas en su utilidad. Goza de una protección improrrogable de 10 años y para su registro debe cumplir los requisitos de novedad y aplicación industrial (Cap. III LPI. Art. 27).
- c) Diseño industrial. Se refiere al modelo industrial constituido por toda forma tridimensional que sirva de tipo o patrón para la fabricación de un producto industrial, que le dé apariencia especial en cuanto no implique efectos técnicos; y al dibujo industrial que es toda combinación de figuras, líneas o colores que se incorpore a un producto industrial con fines de ornamentación y que le dé un aspecto peculiar y propio. Goza de una protección improrrogable de 15 años y para su registro deberá cumplir con los requisitos de novedad y aplicación industrial (Cap. IV LPI. Art. 31).
- d) Secreto industrial. Toda información de aplicación industrial o comercial que guarde una persona física o moral con carácter confidencial, que le signifique obtener o mantener una ventaja competitiva o económica frente a terceros en la realización de actividades económicas y respecto de la cual haya adoptado los medios o sistemas suficientes para preservar su confidencialidad y el acceso restringido a la misma (Titulo Tercero LPI. Art. 82).

Es importante mencionar que para la protección bajo secreto industrial no existe ningún trámite, formato o solicitud en especial. Tampoco se presentan documentos para registro ante el IMPI. Por ello, corresponde a cada persona, empresa o institución interesada tomar las medidas pertinentes para documentar adecuadamente la información que se ampara bajo esta figura. Esta información deberá estar respaldada en documentos, medios electrónicos o magnéticos, discos ópticos, microfilmes, películas u otros instrumentos similares; de esta manera, en caso de divulgación o aplicación no autorizadas, se podrá sustentar una demanda.

- e) Trazado de esquemas de circuitos integrados. Disposición tridimensional de los elementos de un circuito integrado, expresada en cualquier forma, de los cuales uno por lo menos sea un elemento activo, y de alguna o todas las interconexiones de un circuito integrado, o dicha disposición tridimensional preparada para un circuito integrado destinado a ser fabricado. Goza de una protección improrrogable de 10 años y para su registro deberá demostrar originalidad (Título Quinto, Artículo 178 de la LPI).
- f) Marca. Todo signo visible que distinga productos o servicios de otros de su misma especie o clase en el mercado (Título Cuarto LPI. Artículo 87).

Según el Artículo 89 de la LPI, pueden constituir una marca los siguientes signos:

- Denominación y figuras visibles, suficientemente distintivas, susceptibles de identificar los productos o servicios a que se aplique o trate de aplicarse, frente a los de su misma especie o clase;
  - Formas tridimensionales;
  - El nombre propio de una persona física, siempre que no se confunda con una marca registrada o un nombre comercial publicado:
  - Los nombres comerciales y denominaciones o razones sociales.
  - La marca se registrará en relación con productos o servicios determinados en los que se pretenda utilizar. El registro tiene una vigencia de 10 años que puede prorrogarse por periodos iguales.
- g) Denominación de origen. En este caso se utiliza el nombre de una región geográfica del país para designar un producto originario de la misma, cuya calidad o característica se deben exclusivamente al medio geográfico, comprendiendo en éste los factores naturales y los humanos (Artículo 156 de la LPI). El Estado Mexicano es el titular de cada denominación de origen y sólo podrá usarse mediante autorización que expida el IMPI (Artículo 167 de la LPI). La vigencia de la declaración de protección de una denominación de origen estará determinada por la subsistencia de las condiciones que la motivaron y sólo dejará de surtir efectos por otra declaración del IMPI (Artículo 165 de la LPI).

Además de las figuras de protección mencionadas en los párrafos anteriores, en México es posible obtener la protección de material biológico nuevo. Aunque el IMPI es la autoridad responsable de este depósito a nivel nacional, no dispone de las instalaciones necesarias para ello y por esa razón ha suscrito el Convenio de Budapest

con intención de que dicho depósito se realice a través de instituciones reconocidas internacionalmente para ese propósito. El depósito puede realizarse en cualquiera de las instituciones citadas en el Acuerdo por el que se da a conocer la Lista de instituciones reconocidas por el IMPI para depósito de material biológico publicado el 30 de mayo de 1997.

Como se observa, existen diferentes figuras o formas de protección industrial de acuerdo a la naturaleza del conocimiento creado, cada una con distintos requisitos, los cuales se tienen que analizar al momento de crear, desarrollar o mejorar una tecnología para determinar cuál es la más viable para la tecnología.

### **1.8 Principales desarrolladores de tecnología AP**

Las estaciones climáticas están equipadas con un conjunto de sensores que registran datos de las principales variables del clima (Temperatura máxima y mínima, temperatura media, humedad relativa, precipitación, luminosidad, radiación solar, velocidad y dirección del viento, etc.) los cuales son leídos e interpretados (para posteriormente ser almacenados en una memoria dentro de una estación). La principal característica de este conjunto de sistemas es que son equipos que proveen de información esencial para ayudar al proceso de toma de decisiones durante el proceso de manejo de cultivos agrícolas, en la Tabla 3 se muestran algunos sistemas y/o equipos que actualmente se encuentran disponibles para su adquisición en el mercado mexicano.

El propósito inicial de realizar una búsqueda de equipos de AP, fue conocer que aplicaciones tienen los sistemas para supervisión de cultivos agrícolas comercialmente disponibles, para posteriormente decidir qué características son de mayor relevancia, así como determinar el mercado objetivo en que se quería introducir.

A continuación, se presentan las descripciones específicas de cada sistema mencionado en la tabla número 4:

- Ambient Weather Ws-2902 10-en-1 Wi-fi Estación Meteorológica

La estación meteorológica profesional de Ambient Weather contiene dos niveles de conectividad inalámbrica. El conjunto de sensores se conecta a la consola a través de RF (915 MHz) y la consola se conecta a su enrutador (2,4 GHz). La estación meteorológica mide la velocidad del viento, la dirección del viento, la lluvia, la

temperatura y humedad exterior, la radiación solar y los rayos UV. También se incluye dentro de la consola la temperatura, la humedad y la presión barométrica (Cabaleri, 2021).

- Estación meteorológica Vantage Pro2 Plus, Davis Instruments  
Mide: Viento, intensidad y dirección, Lluvia, Temperatura ambiente y humedad relativa Radiación solar, Radiación UV, Presión atmosférica, Temperatura y humedad interior, Incluye arreglo de sensores con panel solar (alcance de hasta 300 m), Consola receptora con pantalla y teclado
- Addwave A753  
Instalado en la torre de cada una de las estaciones este es un datalogger el cual tiene memoria suficiente para guardar datos hasta 10 días a un ritmo de aproximadamente 1 dato por hora. Contiene un dispositivo de comunicación por medio de radiofrecuencia la cual tiene un alcance hasta 20 Km, este sistema se comunica cada 24 horas con la estación base receptora a donde transmite los datos almacenados en la memoria.
- Cesens® Pack Clima  
El pack Clima es perfecto para gestionar el uso de fitosanitarios en función de las necesidades reales del cultivo. Gracias a nuestros diversos modelos predictivos (Mildiu, Oídio, Botrytis...) podrás elegir el tratamiento más adecuado y aplicarlo en el momento preciso (Encore Lab, 2020).
- WatchDog 2900ET [SP03350WD2]  
Las estaciones serie WatchDog 2000 le ofrecen información precisa en tiempo real directamente en su área de producción. Junto con el software SpecPro8, puede monitorear, registrar y analizar más de una docena de condiciones relacionadas con su producción, lo que le ayudará a tener un cultivo más productivo y un mejor control sobre el manejo de plagas y enfermedades.
- Libelium Smart Agriculture IoT Vertical Kit  
El kit tiene la capacidad para monitorizar los parámetros ambientales como humedad del suelo, temperatura, humedad relativa, humedad de las hojas, presión, radiación solar en agricultura, viñedos e invernaderos atmosférica y los valores medidos por las sondas de los diferentes sensores conectados, son recolectados en las unidades Plug & Sense, las cuales son alimentadas por medio de paneles solares, así mismo los datos son enviados de forma inalámbrica a la unidad central Meslium. Ésta tiene conectividad a Ethernet y Wifi donde se puede conectar el PC para la visualización de toda data

recibida de los diferentes nodos Plug & Sense, y finalmente ser subida a la nube (IoT) (LIBELIUM, 2017).

- Libelium-eBerry Smart Agriculture Solution Kit

El kit Libelium-eBerry permite monitorear los parámetros ambientales en las plantaciones de berries. Los sensores de humedad y temperatura del suelo, humedad y humedad de las hojas permiten controlar la calidad de las berries, así como controlar las condiciones micro climáticas para maximizar la producción. Los sensores de humedad del suelo son útiles para reducir el desperdicio de agua mediante el riego selectivo en zonas secas. Por otro lado, controlar los niveles de humedad y temperatura puede prevenir hongos y otros contaminantes microbianos (Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2021).

- Nduino

El Nduino es un equipo de medición foliar de clorofila / nitrógeno basado en el microcontrolador Arduino, y en concreto en este primer prototipo en un Arduino Uno. Consiste en una pinza donde se coloca la hoja a muestrear. Un diodo LED emite una luz blanca que se refleja en la superficie de la hoja, y la luz reflejada es recogida por un sensor RGB. La información captada por el sensor se transmite a la placa Arduino, donde un software desarrollado al efecto realiza una serie de cálculos y ofrece un índice de vegetación. Adicionalmente se registra el lugar de la medición mediante un receptor GPS incorporado y guarda la información en una tarjeta de memoria SD para su uso (García, 2018).

- FarmBot

El robot viene en un kit que incorpora un Arduino Mega 2560 y una Raspberry Pi 2 Model B. El sistema físico de FarmBot está alineado con los cultivos trazados en la aplicación web. De esta forma FarmBot puede regar, fertilizar y utilizar otros recursos para mantener las plantas sanas y creciendo (García, 2018).

- SOLCHIP

Es un sistema sistemas de Internet de las cosas (IoT). Proporciona información sobre: humedad del suelo, humedad del aire y temperatura, nivel de nutrientes, radiación de luz.

- GrapePrecision

Dispositivo que posibilita la medición del grado de maduración de la uva en base al color y a la concentración de azúcar creado con una Raspberry Pi equipada con PiCamera v2, la plataforma STM32 Núcleo-F401RE y el sensor óptico TCD1304.

**Tabla 4 Estaciones meteorológicas y sistemas de AP comercialmente disponibles**

Nombre del sistema	Costo (MXN)	Imagen de referencia	País de origen
Ambient Weather Ws-2902 10-en-1 Wi-fi Estación Meteorológica	\$8,890		Estados unidos
Estación Meteorológica Vantage Pro2 Plus 6162, Davis	\$34,200		Estados unidos
Addwave A753	\$60,000		Estados Unidos
Cesens® Pack Clima	\$38,000		España
WatchDog 2900ET [SP03350WD2]	\$63,000	No disponible	Estados Unidos
Libelium Smart Agriculture IoT Vertical Kit	\$173,000	No disponible	España
Libelium-eBerry Smart Agriculture Solution Kit	\$70,000.00	No disponible	España
Nduino	No disponible		No disponible

Nombre del sistema	Costo (MXN)	Imagen de referencia	País de origen
FarmBot	\$ 52,650.00		Estados unidos
SOLCHIP	\$ 34,684.00		Estados Unidos
GrapePrecision	No disponible		España

### 1.9 Propiedad industrial de sistemas de AP

El propósito inicial de realizar una búsqueda de patentes, fue conocer que aplicaciones tiene los sistemas para supervisión de cultivos agrícolas comercialmente disponibles, para posteriormente decidir qué características son de mayor relevancia, así como determinar el mercado objetivo en que se quería introducir.

Para la obtención de información, se procedió a realizar una búsqueda en buscadores online gratuitos de patentes entre ellos: Base de datos de patentes en texto completo de Estados Unidos (USPTO), Base de datos de la Oficina Europea de Patentes (ESP@CENET EPO), Base de datos de patentes publicadas de Latinoamérica (LATIPAT-ESP@CENET), Base de datos de aplicaciones de patentes internacionales de la OMPI (WIPO PATENTSCOPE) y Google Patents. La información referente a las reivindicaciones específicas puede ser consultada en la patente original disponible en la nube.

**Tabla 5 Patentes de sistemas de información para cultivos agrícolas**

<b>Nombre</b>	<b>Resumen de la patente</b>	<b>Autor/fecha y país</b>	<b>Numero de patente</b>
Sistema de monitoreo interactivo en tiempo real para agricultura de precisión	La presente invención se relaciona con un sistema de monitoreo interactivo en tiempo real para agricultura de precisión para obtener las condiciones reales de un predio o terreno. El sistema comprende una pluralidad de sensores situados en diferentes partes de un predio agrícola, conectados a través de una red de nodos con un nodo central, un sistema de procesamiento de datos para trabajar con grandes volúmenes de datos, al menos una base de datos ubicada en al menos un servidor y una interfaz Web, la cual permite ver los datos recolectados.	Sergio Hernández 2016-06-01 Chile	WO2016191893A1
Sistema inalámbrico de automatización y control de riego tecnificado	Un Sistema y un Procedimiento Inalámbrico de Automatización y Control de Riego que opera en forma individual y a distancia equipos de riego tecnificado que incluyen bombas, fertirrigadores y electroválvulas distribuidas estas últimas en toda la superficie a regar; complementariamente el sistema permite en forma simultánea y centralizada, con bajo costo y alta flexibilidad: dar orden de regar; a través de sensores medir factores de diversa índole que inciden en la productividad de las plantas y la calidad del riego; registrar datos de riego; registrar datos capturados por los sensores; registrar datos exógenos; controlar los procesos; y generar alarmas en caso de anomalías.	2009-09-04 Chile	WO2010051652A1
Equipo electrónico de supervisión remota de instalaciones	El equipo electrónico de supervisión remota de instalaciones es un sistema de vigilancia y control utilizable en cualquier tipo de instalación. Obtiene las variables o parámetros físicos a supervisar y los envía a la estación central para su monitorización y control. Las señales que el equipo supervisa pueden ser tanto analógicas, digitales como PT-100. El sistema presenta unas dimensiones reducidas y la posibilidad de funcionar sin alimentación de red. La comunicación entre las estaciones remotas y la estación central puede configurarse mediante GSM, GPRS, telefonía satelital, vía telemática o vía radio. Todo ello contribuye a que pueda utilizarse en cualquier tipo de instalaciones, grandes o pequeñas, independientemente de su ubicación, e incluso en condiciones de intemperie.	Roberto Montes Casero 2003-05-29 BOLIVIA	WO2004107290A1
Precision farming system for applying product to a field	A control system is disclosed for an agricultural implement, such as an agricultural sprayer, used to dispense a product to the ground wherein the dispensing units for the product are provided with control valves that can reduce the flow rate of product through selected dispensing units to zero. By controlling the rate of flow through the dispensing units, overlap of the application of the product to the ground can be substantially eliminated. In alternative embodiments of the invention, the control mechanism can receive data from a remote source, such as a central controller or another implement operating in the field, to define where the product needs to be applied to the ground. The application of the product can also be controlled through or in conjunction with a prescription map.	Robert Benneweis 2000-08-14 USA	US20040128045A1

## **CAPITULO DOS: GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA**

En una medida cada vez mayor, las tecnologías avanzadas son un factor crucial en el éxito de las empresas privadas, la eficacia de muchas operaciones gubernamentales y el bienestar de las economías nacionales, así como para la implementación de sistemas de desarrollo exitosos (National Research Council, 1987).

Dentro del presente capítulo se analizan los principales conceptos relacionados con la tecnología, la gestión y la transferencia de tecnología, así como sus funciones, elementos, herramientas y modelos, esta información es de gran relevancia ya que permite analizar el papel estratégico que tienen dentro de una organización, así como su utilidad para alcanzar los objetivos.

### **2.1 Gestión de la tecnología**

Una organización, empresa o país, requiere incorporar la ciencia, tecnología e innovación en sus procesos productivos para ser competitivo y lograr un desarrollo (Ramos Vargas, 2020).

La tecnología tiene una función operativa (instrumentación y funcionamiento de la tecnología) y función estratégica para que las organizaciones sean competitivas en el mercado (Erosa. Arroyo, 2007).

En palabras de Solleiro Rebolledo (2006) “La tecnología es conjunto de conocimientos, máquinas, herramientas, métodos, relaciones económicas y sociales del medio orientados a la satisfacción de necesidades por medio de la producción de productos, servicios o procesos” (p.84).

De acuerdo a varios autores la tecnología se define como una serie de conocimientos organizados y orientados a la acción, es decir a la resolución de un problema concreto; es la aplicación eficaz y eficiente de un conjunto de técnicas, conocimientos, experiencias para dar solución o mejorar actividades o procesos.

Para (González, 2017), “la tecnología se clasifica en cuatro tipos: derechos de propiedad, conocimiento científico, bienes de equipo y Tecnologías de la información (TIC), y conocimiento técnico.”

- a) Derechos de propiedad, es tecnología que se materializa en forma de invenciones (dispositivos, componentes, procedimientos, metodologías...) protegidas mediante alguna o varias de las modalidades existentes de derechos de propiedad industrial e intelectual (patentes, modelos de utilidad, diseños, marcas, derechos de autor) y secreto industrial (Gonzalez, 2009).
- b) Conocimiento científico, son aquellos conocimientos y capacidades científicas y tecnológicas para desarrollar actividades futuras de I+D, generalmente a través de la sabiduría y la experiencia académica-científica del personal altamente cualificado (Gonzalez, 2009).
- c) Conocimiento técnico. Conocimientos y habilidades técnicas, generalmente ocultos (como parte del saber hacer y experiencia de las personas de una organización –) o de dominio público (biblioteca de normativa...) destinados a prestar servicios más o menos avanzados de: asesoramiento, consultoría, asistencia, ingeniería, ensayos, formación o similares (Gonzalez, 2009).
- d) Bienes de equipo y TIC. Activos materiales intensivos en capital y conocimiento, que ya están disponibles en el mercado y suponen una fuente importante de innovación tecnológica para ciertas empresas (Gonzalez, 2009).

La tecnología tiene impacto competitivo para las empresas al obtener ventajas de mercado mediante la diferenciación o valor agregado y ventajas de costos a través de las mejoras en sus procesos, en ambos casos el beneficio se enfoca al consumidor. Para las empresas o consumidores en crecimiento, la tecnología frecuentemente determina la estrategia y para empresas maduras la tecnología es un recurso de apoyo para su éxito. (Erosa. Arroyo, 2007),

## **2.2 Importancia de la gestión de la tecnología**

El término “gestión de la tecnología” aparece por primera vez en el reporte Management of Technology: The Hidden Competitive Advantage, publicado en 1987 por el Consejo Nacional de Investigaciones (National Research Council) ubicado en Washington DC, Estados Unidos de América, en donde se definió su alcance en la práctica educativa y empresarial.

La aplicación de tecnologías avanzadas requiere una cuidadosa atención no solo de los avances científicos y de ingeniería, sino que, también requiere atención a las personas, las materias primas, la viabilidad financiera, la competitividad y el medio ambiente. Una consideración adecuada de cada uno de estos factores requiere decisiones y acciones

conscientes, por lo que lograr un el equilibrio adecuado es un problema cada vez más difícil. (National Research Council, 1987)

La Gestión de la Tecnología es una actividad esencial en cualquier empresa. Ayuda a la empresa a gestionar las actividades existentes de un modo más efectivo, al tiempo que contribuye a desarrollarlas de forma estratégica, reforzando sus recursos, experiencias y capacidades. Ayuda a las organizaciones, a prepararse para el futuro, reduciendo sus riesgos comerciales y las incertidumbres del negocio a base de incrementar su flexibilidad y comprensión de la evolución de los productos-servicios del mismo. La Gestión de la Tecnología facilita en general una mejora en la calidad de la Gestión empresarial y medioambiental al tiempo que propicia la búsqueda o diversificación de nuevos productos y servicios.

Para Bellido (2012), la gestión de la tecnología es “el conjunto de estrategias y actividades que usan el factor tecnología para crear, mantener o mejorar las ventajas competitivas de la organización” (p.12).

De acuerdo con el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A. C. (IMNC) (2007), dentro de la Norma Mexicana de Gestión de la tecnología “NMX-GT-001-IMNC-2007”, la gestión de la tecnología se define como: “Conocimientos organizados en torno a procesos, métodos y prácticas que actúan sobre la planeación, desarrollo, control, integración y capitalización de los recursos para la implantación de cambios tecnológicos o innovaciones en empresas e instituciones con el propósito de mantener o mejorar la posición competitiva” (p.3).

Se ha planteado la necesidad de completar la profesionalización de la gestión empresarial incorporando a ella la tecnología, y de esta forma establecer un equilibrio entre las funciones de la empresa: mercadotecnia, investigación y desarrollo, producción y recursos humanos; de tal manera que se administre cada recursos tecnológico con la misma eficacia que los demás recursos y aportarles de este modo a los administradores y directores una visión más real y anticipadora de su empresa y de su potencial de desarrollo (Morin, 1998).

También tiene un impacto directo en las diferentes áreas generadoras de valor, siendo sus principales funciones: inventariar, vigilar, evaluar, enriquecer, asimilar y proteger los procesos, productos, diseños o secretos industriales (Solleiro, 2008).

La gestión de la tecnología es una práctica esencial para cualquier negocio ya que ayuda a las empresas a gestionar sus operaciones de planificación de forma eficaz, desarrollándolas estratégicamente, fortaleciendo sus recursos, su know how y sus capacidades para el logro de sus objetivos, contribuyendo a reducir sus riesgos e incertidumbre y aumentando su capacidad para dar respuesta a situaciones futuras (Ramos Vargas, 2020).

### **2.3 Los modelos de transferencia de tecnología**

Existen tanto modelos básicos como modelos complejos de transferencia de tecnología, los cuales dan a conocer la relación entre los participantes y sus principales etapas; cada uno es una referencia para las organizaciones que desean participar en un proceso de transferencia de tecnología. (Ramos Vargas, 2020)

La transferencia de tecnología se puede definir como:

- “La aplicación novedosa de tecnologías o prototipos por parte de los integrantes de múltiples grupos que componen a la organización, los que, a través de la investigación y el desarrollo de instalaciones, visualizan colectivamente la transferencia como una opción atractiva y viable para comercializar una innovación o atender una necesidad insatisfecha a través del esfuerzo sinérgico de empatar capacidades con necesidades” (Lane, 2003,p.333-354).
- “La transferencia de tecnología es el proceso administrado de trasladar una tecnología de una entidad a otra entidad interesada en su adopción” (Soeder, 1990,p.5).

Algunos de los objetivos que persigue la transferencia tecnológica son:

- Transferir conocimiento y habilidades entre múltiples sectores productivos fomentando una economía circular.
- Impulsar el desarrollo, formación y capacitación de los integrantes de diversas organizaciones, empresas e instituciones, tanto del sector público como privado.
- Generar productos y actividades tecnológicamente innovadores que tengan capacidad de ser llevados a cabo y generar un ingreso (ser explotables desde el punto de vista comercial).

Entre los principales modelos de transferencia de tecnología se pueden mencionar:

- a) La transferencia tecnológica en las universidades

La colaboración entre las universidades y el sector industrial ha cobrado relevancia durante el último tiempo, sobre todo cuando se aborda el tema de la innovación. La transferencia tecnológica de las universidades es un recurso muy importante, tanto para el desarrollo económico regional como para los ingresos de las universidades que generan conexiones entre la academia, la industria y el desarrollo económico regional.

Junto con las empresas y las instituciones de investigación, las universidades, juegan un papel de vital importancia al interior del sistema nacional de innovación, puesto que son las encargadas de realizar una parte sustancial de la I+D+i como ocurre en gran parte de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). Este rol de las universidades es fundamental en la sociedad del conocimiento, más aún si se considera a la innovación como un factor clave dentro del crecimiento, desarrollo económico y bienestar social de una nación o de un territorio determinado.

El conocimiento ha sido el motor del crecimiento económico y del aumento gradual de la calidad de vida y bienestar en la sociedad contemporánea. Los recursos de la ciencia pueden convertirse en la fuerza conductora de la relación entre las organizaciones científicas, desde donde se contribuye a la construcción de una nueva economía. Dichas funciones, propias de un sistema de innovación, impactan en la previsión de la tercera misión de las universidades y su contribución en I+D+i (Rejas, 2017).

#### b) Vinculación universidad-industria

El impacto del desarrollo de actividades de vinculación entre los sectores académico e industrial en el desempeño económico de un país es uno de los aspectos sobre los que existe menos controversia, ya que por décadas se han resaltado los beneficios que se generan con la investigación científica (Bush, 1945).

La selección de una perspectiva o marco teórico para estudiar las prácticas de vinculación determina, por lo tanto, la relevancia que tienen distintos factores para la concreción de actividades de colaboración entre los actores interesados. “La clave resulta al desarrollar y aprovechar las investigaciones que tienen efectos en el desarrollo económico de cualquier país: las universidades o centros de investigación, la industria y el gobierno, representado en la metáfora de una triple hélice, la cual se materializaría bajo la forma de un proceso cíclico, acumulativo y transformador, de las actividades desarrolladas por los actores ubicados en cada una de las esferas mencionadas” (Salvador, 2017,p.44).

El desarrollo de actividades de colaboración entre las universidades y la industria tiene lugar en un espacio que los diversos actores identifican como de "confluencia de intereses", el cual prevalece sobre las "posibles diferencias", de manera que se promueve la generación de innovación como un derivado de las interacciones que tienen lugar entre las distintas esferas, que son "no lineales, que se cruzan frecuentemente entre ellas y que resultan en una coevolución, generándose un proceso cíclico de la triple hélice como se muestra a continuación (Enrique Cabrero, 2011).

#### c) Modelo de la triple hélice

La triple hélice expresa la relación universidad-industria-gobierno como una asociación entre iguales, relativamente independientes, de esferas institucionales que se traslapan y toman el papel de las otras (Etzkowitz, 2002).

“Abarca la triada compuesta por universidades como generadoras de tecnología, empresas como encargados de dar a conocer las tecnologías a través de los mercados y el estado, cuyo rol ha sido ampliamente discutido y modificado a lo largo del tiempo, en donde funge desde únicamente como intermediario entre las funciones de las universidades y las empresas, hasta una participación de los tres entes planteando las posibilidades de que cada uno podía trabajar tanto de manera conjunta como separada” (Leydesdorff, 1998).

Además de poder interactuar entre ellas, existe la posibilidad de una triple participación, donde interactúe Estado, Universidades y Empresas como uno solo

El modelo triple hélice “ha cobrado valor en los últimos años en las economías emergentes y juega un papel fundamental en la generación de soluciones que resuelven problemas sociales, mejoran calidad de vida de la población, lo cual se refleja en índices de desarrollo humano en cuartiles superiores en los países que han logrado una aplicación óptima de este modelo” (Pardo Martínez, 2019).

## **2.4 Mecanismos de transferencia tecnológica**

La tecnología se transfiere por diversas razones y en diferentes formas, las situaciones de transferencia más comunes son las siguientes:

- a) Transferencia de tecnología dentro de una misma área científica con el fin de contribuir al avance del conocimiento de una ciencia, Por ejemplo, “la transferencia de tecnologías para decodificar el ADN humano a través de eventos, artículos e

intercambios científicos, hasta llegar a acumular suficientes conocimientos para desarrollar un método rápido y preciso para obtener el perfil de ADN de un individuo” (Arroyo, 2007, p.198).

- b) Transferencia de un área geográfica a otra dentro de una misma estructura social, que usualmente está motivada por objetivos económicos. Por ejemplo, “una empresa que transfiere las prácticas de producción de las empresas japonesas (JIT, Kanban) con el propósito de incrementar la eficiencia de su proceso de manufactura” (Arroyo,2007, p.199).
- c) Transferencia de tecnología entre diferentes estructuras sociales, ya sea nacional o internacionalmente, con el objetivo de contribuir al desarrollo.

La transferencia de tecnología puede ocurrir además en un sentido vertical u horizontal. La transferencia vertical por su lado, “se presenta cuando las tecnologías se transmiten de la etapa de investigación y desarrollo a la implementación comercial” (P. Klintonberg, 2014).

La transferencia horizontal “guarda relación con los modelos de crecimiento endógeno, en los cuales la tecnología de producción se determina dentro del mismo sistema que el producto” (Mourão, 2019).

Por lo general, la transferencia horizontal, ocurre cuando una tecnología ya probada se transfiere a otro país o industria tal y como se muestra en la figura 5



**Figura 5 Modelo de transferencia tecnológica horizontal. Fuente:Arroyo, 2007**

El proceso de transferencia también requiere de adaptar estas prácticas al nuevo contexto, considerando la cultura del país donde está localizada la unidad de negocios, así como las

capacidades y valores de los trabajadores. El transferir tecnología implica: adquirir, ceder, compartir, licenciar, acceder a conocimiento y los modelos más relevantes que han permitido tener una idea más clara de la importancia e implicaciones en el proceso de transferencia de tecnología (Arroyo, 2007).

El proceso de la transferencia tecnológica (figura 6) es diferente de acuerdo al modelo, esto de acuerdo a los dos posibles enfoques de transferencia, uno de la innovación al mercado (*technology push*) y el otro del reconocimiento del mercado hacia la tecnología (*market pull*).

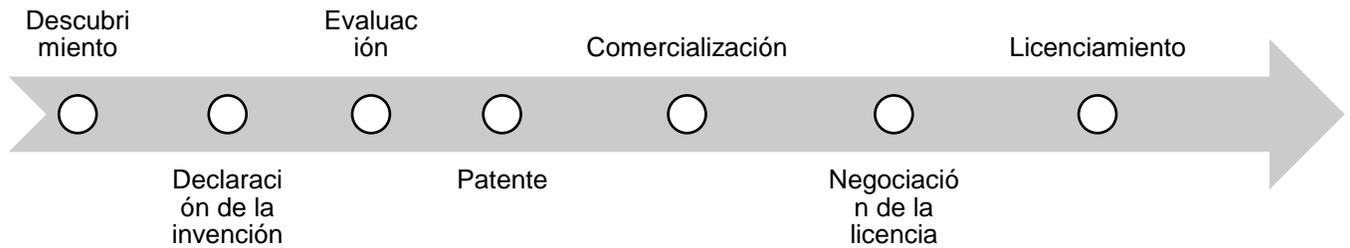


**Figura 6 Principales enfoques de la transferencia tecnológica. Fuente: Arroyo, 2007**

Pero también, actualmente existen otros modelos de transferencia tecnológica, desde modelos básicos hasta algunos modelos complejos. Los cuales exponen la relación existente entre las diversas instituciones colaboradoras durante la transferencia tecnológica, siendo las más comunes entre las universidades y las empresas, algunos modelos son:

- a) *Modelo lineal*: Bajo este modelo se puede expresar la transferencia tecnológica de una universidad a una empresa como una secuencia lineal de etapas establecidas. Este modelo cuenta con 7 etapas (figura 7), las cuales son: el descubrimiento científico, la declaración de la invención, la evaluación de la invención para la conocer si contiene los criterios necesarios para realizar la patente, la patente, la comercialización de la tecnología, la negociación de la licencia y finalmente el licenciamiento (Cohen, Nelson, & Walsh, 2002).

Destacar que cada una de estas etapas son dependientes de la anterior, siendo la desencadenante de toda la primera etapa de descubrimiento científico



**Figura 7 Modelo lineal de transferencia tecnológica Fuente Siegel et al 2004.**

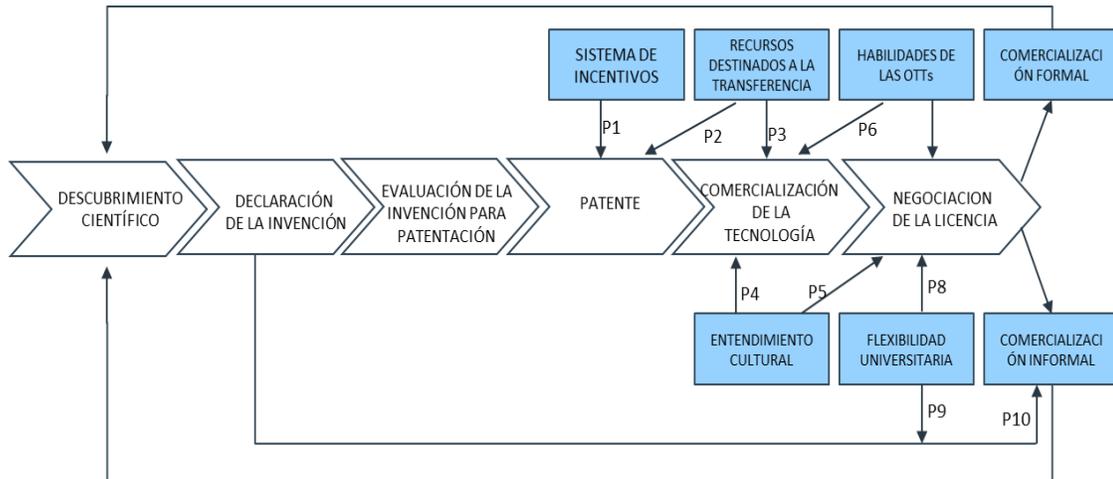
b) *Modelo dinámico*: Martin plantea que el modelo dinámico surge de un análisis más detallado y minucioso de cada etapa establecida en el modelo lineal (fig. 8), en el cual se identificaron 10 propuestas o supuestos básicos:

1. Las universidades que proveen mayores incentivos a la participación de los investigadores en transferencia tecnológica generan más patentes y licencias.
2. Las universidades que asignan más recursos para las Oficinas de Transferencia Tecnológica (en adelante OTTs) generan más patentes y licencias.
3. Las universidades que asignan más recursos para las OTTs, dedican más esfuerzos a mercadear las tecnologías en la industria.
4. Un bajo nivel de entendimiento cultural reduce la efectividad de los esfuerzos de la Universidad por comercializar los resultados de sus investigaciones.
5. Un bajo nivel de entendimiento cultural impide la negociación de los acuerdos de licenciamiento.
6. Las OTTs administradas por personas con experiencia y habilidades en mercadeo dedicarán mayores esfuerzos en establecer alianzas con las empresas.
7. Las OTTs administradas por personas con experiencia y conocimiento en negociación son más exitosas en concretar los acuerdos de transferencia tecnológica con las empresas.
8. Baja flexibilidad por parte de la universidad se deriva en un menor número de acuerdos de transferencia con las empresas/empresarios.
9. Cuando la inflexibilidad de la universidad es alta, los investigadores tienden a evadir el proceso formal de transferencia y recurren a otros mecanismos informales.

10. Las Universidades que se involucran en la transferencia de conocimiento científico-tecnológico a las empresas, experimentan un incremento en la actividad investigativa básica o fundamental (García J. M., 2017).

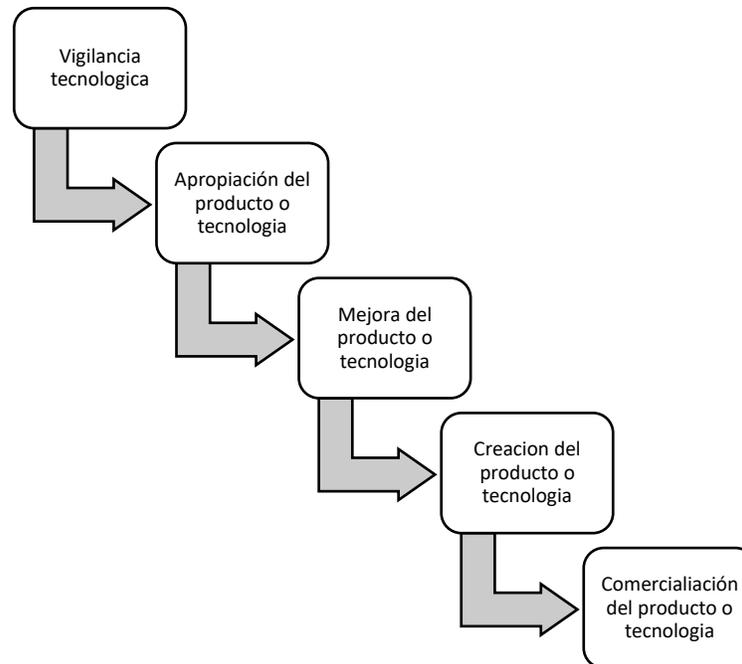
Con el objetivo de tener mejor acceso a la tecnología surge las oficinas de transferencia de tecnología (OTT) para ayudar a los principales actores a representar los intereses de ambas partes, facilitando la transferencia comercial a través del licenciamiento u otras formas de propiedad intelectual de las invenciones a las industrias.

“A pesar de ser una propuesta más integral respecto del modelo lineal, ella no contempla el análisis de los factores externos al proceso de transferencia, entre ellos el papel del Estado” (López et al., 2006)



**Figura 8. Modelo dinámico de transferencia tecnológica. Fuente: Siegel et al 2004.**

c) *Modelo Catch Up*: Este modelo explica que: la transferencia tecnológica también se puede dar por la imitación y captación de tecnología por un tercero. Esto sucede al desarrollarse una competencia por mejorar productos los cuales puedan competir en los mercados de mejor forma, por lo cual no sólo se transfiere tecnología a través de la imitación y la captación, sino también se desarrolla esta tecnología conforme es solicitada por los mercados (Kim, 2000). Este modelo se presenta en la figura número 9.



**Figura 9 Modelo Catch Up.**

El modelo lineal, el modelo dinámico, el modelo de la triple hélice y el modelo catch up; tienen aspectos comunes, haciendo énfasis a los componentes, proceso y actores que participan en la transferencia tecnológica y han sido base para el desarrollo de nuevos modelos o metodologías, para la transferencia tecnológica destacando las oportunidades para cada uno de los involucrados.

El último modelo que se presenta corresponde al Modelo de Comercialización y Transferencia de Tecnología del Tecnológico Nacional de México. El cual sugiere cinco etapas básicas de seguimiento de proyectos tecnológicos con potencial de impacto en un mercado determinado (ver figura 10).

1. Planeación tecnológica
2. Creación de tecnología,
3. Análisis de protección de propiedad intelectual
4. Análisis de viabilidad técnica y comercial, y
5. Comercialización y transferencia.



**Figura 10. Modelo Conceptual del Comercialización y Transferencia de Tecnología Fuente: Tecnológico Nacional de México 2015**

El objetivo es establecer la metodología para llevar a cabo un proceso de comercialización y transferencia de tecnología, que coadyuve a la generación, evaluación y protección de las tecnologías que buscan dar respuesta a las problemáticas nacionales, impactando de manera positiva en las actividades económicas de las regiones del país (Tecnológico Nacional de México, 2015).

Un proyecto es una iniciativa que busca dar solución a un problema de negocios que no ha sido completamente resuelto por la oferta existente. El proyecto involucra personas, procesos, presupuestos y un objetivo. La finalidad del proyecto también puede ser mejorar la posición actual frente al mercado y en este sentido, un proyecto empresarial busca desarrollar nuevas capacidades en la empresa (Nirian, 2019).

Escudero (2004), define un proyecto como una propuesta técnica y económica para resolver un problema de la sociedad utilizando los recursos humanos, materiales y tecnológicos disponibles, mediante un documento escrito que comprende una serie de estudios que permiten al inversionista saber si es viable su realización.

La ejecución de proyectos productivos constituye el motor del desarrollo de una región o país, razón por la cual las instituciones financieras del orden regional, nacional e internacional tienen como objetivos la destinación de recursos para la financiación de inversiones que contribuyen a su crecimiento económico y beneficios sociales (Padilla, 2011).

Padilla (2011) señala que un proyecto no puede surgir de la simple voluntad del inversionista; en su selección se debe tener en cuenta que el plan preliminar propuesto cumpla con los objetivos de desarrollo del país y que además sea:

- Técnicamente racional.
- Atrayente para los beneficiarios futuros.
- Realizable a nivel operativo y de gestión, e institucionalmente sostenible.
- Viable financiera y económicamente.
- Sostenible para el medio ambiente.
- Jurídicamente factible

Múltiples autores consideran que la decisión de emprender una inversión tiene cuatro componentes básicos:

- El decisor, un inversionista, financiero o analista.
- Las variables controlables por el decisor.
- Las variables no controlables por el decisor.
- Las opciones o proyectos que se deben evaluar.

El análisis del entorno (demográfico, cultural, tecnológico) donde se sitúa la empresa y del proyecto que se evalúa implementar es fundamental para determinar el impacto de las variables controlables y no controlables.

Para recomendar la aprobación de cualquier proyecto es preciso estudiar un mínimo de tres factibilidades que condicionarán el éxito o fracaso de una inversión: la factibilidad técnica, la legal y la económica. Otras factibilidades son las de gestión, política, social y ambiental (Padilla, 2011).

Baca Urbina (2016) menciona que, típicamente un estudio técnico se encuentra conformado por:

- Análisis y Determinación de la localización óptima del proyecto
- Análisis y Determinación del tamaño óptimo del proyecto
- Análisis de la disponibilidad y costo de los suministros e insumos
- Identificación y descripción del proceso
- Determinación organizacional humana y jurídica que se requiere para el proyecto

Según Padilla (2011), los objetivos del análisis técnico-operativo de un proyecto son:

- Verificar la posibilidad técnica de la fabricación del producto que se pretende
- Analizar y determinar el tamaño, la localización, los equipos, las instalaciones y la organización óptimos requeridos para realizar la producción
- Coherente a nivel conceptual y relevante para las necesidades y capacidades nacionales.

## 2.5 Etapa de maduración de la tecnología

La maduración de la tecnología puede requerir la comprobación de algún aspecto crítico para contribuir a la toma de decisiones para continuar o no su desarrollo, para lo cual se recurre a la realización de pruebas de concepto o a la aplicación de metodologías tales como Technology Readiness Level (TRL),

La metodología Technology Readiness Level (TRL), es una herramienta que apoya a la evaluación de la tecnología. Es un método aceptado para medir el grado de madurez de una tecnología, para aplicarse a cualquier tecnología desde su idea original, examina conceptos del programa, requisitos de la tecnología, y capacidades demostradas de la tecnología hasta su despliegue. Su clasificación por niveles es en una escala de 1 a 9, siendo el nivel 9 de tecnología el más maduro. En la tabla 5 se muestran los niveles de madurez por el tipo de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.

**Tabla 6 Niveles de madurez por tipo de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.**

---

<i>TRL 1:</i> Idea básica.	
<i>TRL 2:</i> Concepto o tecnología formulados.	Investigación
<i>TRL 3:</i> Prueba de concepto.	
<i>TRL 4:</i> Validación a nivel de componentes en laboratorio.	
<i>TRL 5:</i> Validación a nivel de componentes en un entorno relevante.	Desarrollo
<i>TRL 6:</i> Validación de sistema o subsistema en un entorno relevante.	
<i>TRL 7:</i> Validación de sistema en un entorno real.	
<i>TRL 8:</i> Validación y certificación completa en un entorno real.	Innovación
<i>TRL 9:</i> Pruebas con éxito en entorno real.	

Fuente: Ibáñez, s/a.

El propósito principal de utilizar niveles de preparación tecnológica es ayudar a los investigadores u organizaciones a tomar decisiones relacionadas con el desarrollo y la

transición de la tecnología. Debe considerarse como una de las varias herramientas necesarias para gestionar el progreso de la actividad de investigación y desarrollo a la transferencia tecnológica exitosa.

El TRL es una metodología a través de la cual se describe la madurez de una tecnología que se está desarrollando, describe si se está investigando, inventando, desarrollando una tecnología, probando o validando en laboratorio, creando o experimentando en entornos controlados, demostración en entornos reales, prototipo, preparando o validando un producto para su lanzamiento al mercado. La metodología ayuda a tener una visión más general de la tecnología, tomar decisiones para su financiamiento y disminuir riesgos.

## **2.6 Planeación estratégica**

La Planeación Estratégica “es una herramienta de gestión que permite establecer el quehacer y el camino que deben recorrer las organizaciones para alcanzar las metas previstas, teniendo en cuenta los cambios y demandas que impone su entorno”. En este sentido, es una herramienta fundamental para la toma de decisiones al interior de cualquier organización. (Villota, 2021,p.12).

Así, la Planeación Estratégica es un ejercicio de formulación y establecimiento de objetivos y, especialmente, de los planes de acción que conducirán a alcanzar estos objetivos (Roncancio, 2018).

El modelo de negocio es el mecanismo por el cual un negocio trata de generar ingresos y beneficios, es un resumen de cómo una compañía planifica servir a sus clientes Implica tanto el concepto de estrategia como el de implementación.

El lean canvas es una herramienta de visualización de modelos de negocio pensada para empresas incipientes. Se enfoca en la metodología lean startup, centrada en generar nuevas ideas y llevarlas a prototipado para verificar si el mercado está en búsqueda de las soluciones que usted está proponiendo. (Impacto Postitivo, 2020)

El lienzo lean canvas es una representación simplificada del modelo de negocio. Describe aquello que un negocio brinda a sus clientes, la manera en cómo accede hasta ellos, y cómo son los vínculos mediante los cuales se relacionan.

El lean Canvas es una herramienta derivada del esquema tradicional “Model Canvas” diseñado por Alex Osterwalder con la ayuda de Yves Pigneur, que está recogida en el libro “Business Model Generation” (Generación de Modelos de Negocio).

“El Modelo Canvas permite visualizar en un sólo documento, la idea del modelo de negocio. Se compone de nueve apartados. Este modelo funciona como un cuadro con todos los detalles que se necesitan para tener una idea clara y completa de la planificación estratégica de tu empresa. Es una de las herramientas más usada por los emprendedores” (WindUp, s.f.).

El lean canvas (ver figura 11) es una herramienta de visualización de modelos de negocio pensada para empresas incipientes. Se enfoca en la metodología lean startup, centrada en generar nuevas ideas y llevarlas a prototipado para verificar si el mercado está en búsqueda de las soluciones que se están proponiendo (INCAE, 2018).

Después de realizar una investigación exploratoria sobre el modelo lean canvas, se puede resumir que las características más relevantes son:

Permite identificar los problemas que afectan a determinado segmento del mercado, así como las soluciones que actualmente están siendo aplicadas

- Aclara las ideas centrales sobre las que se desarrolló el producto, porque es diferente y porque merece la atención
- Resalta la proposición de valor única del producto o servicio desarrollado
- Resalta la diferenciación que tiene el producto o servicio, o aquello que lo hará difícil de copiar
- Presenta los canales que serán utilizados para llegar al cliente
- Define las métricas clave (KPI) que serán relevantes
- Describe la estructura de costos, además de presentar la forma en que serán contabilizados los ingresos



Figura 11 Lienzo Lean Canvas Recuperado de: <https://yiminshum.com/modelo-de-negocio-lean-canvas/>, 2015

Con la aplicación de la herramienta se comienza a generar “experimentos” mediante los cuales es posible adquirir conocimientos de forma rápida, a un costo bajo además es posible recibir opiniones directas de los clientes en lugar de basarse únicamente en la intuición para la toma de decisiones.

Posteriormente, es posible probar el producto mínimo viable (PMV), que consiste en un prototipo o maqueta que se crea para que el usuario pruebe, el cual ayuda a validar la idea de negocio antes de lanzar la versión final (Valverde, 2018).

## CAPITULO TRES: METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se contemplaron dos momentos: el desarrollo técnico del sistema y la investigación documental, descriptiva y la investigación de campo, a través del sistema desarrollado.

Con el objetivo de lograr la consecución del proyecto, así como de las metas propuestas se diseñó una metodología de trabajo lineal basada en tres fases principales:



A su vez cada una de estas fases está compuesta por una serie de actividades a desarrollar, contando cada una de estas, con un entregable específico y se encuentran conformadas de la siguiente forma:

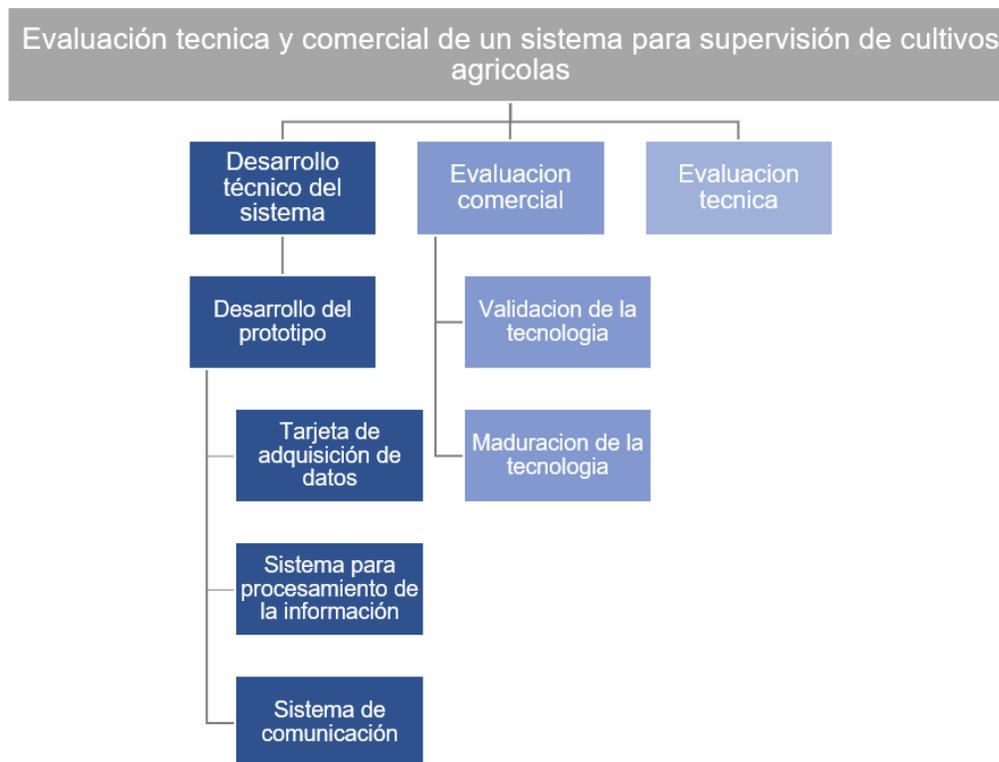


Figura 12 Diagrama de actividades

La primera fase (ver tabla 7) consiste en el desarrollo tecnológico de un sistema para supervisión de cultivos agrícolas, este sistema está enfocado a la recopilación mediante el uso de diversos sensores y el posterior análisis de información meteorológica.

En la segunda etapa del proyecto se incluyen los procesos necesarios para validar el interés del mercado y lograr una comercialización exitosa del desarrollo tecnológico, se integrará una propuesta de plan para la comercialización.

La tercera etapa se refiere a la evaluación técnica del sistema, en esta fase se incluyen la búsqueda y posterior análisis en las bases de datos para determinar las posibilidades que existen para lograr un registro de propiedad industrial ante el IMPI. Además del análisis de los requerimientos necesarios para lograr la producción del equipo desarrollado.

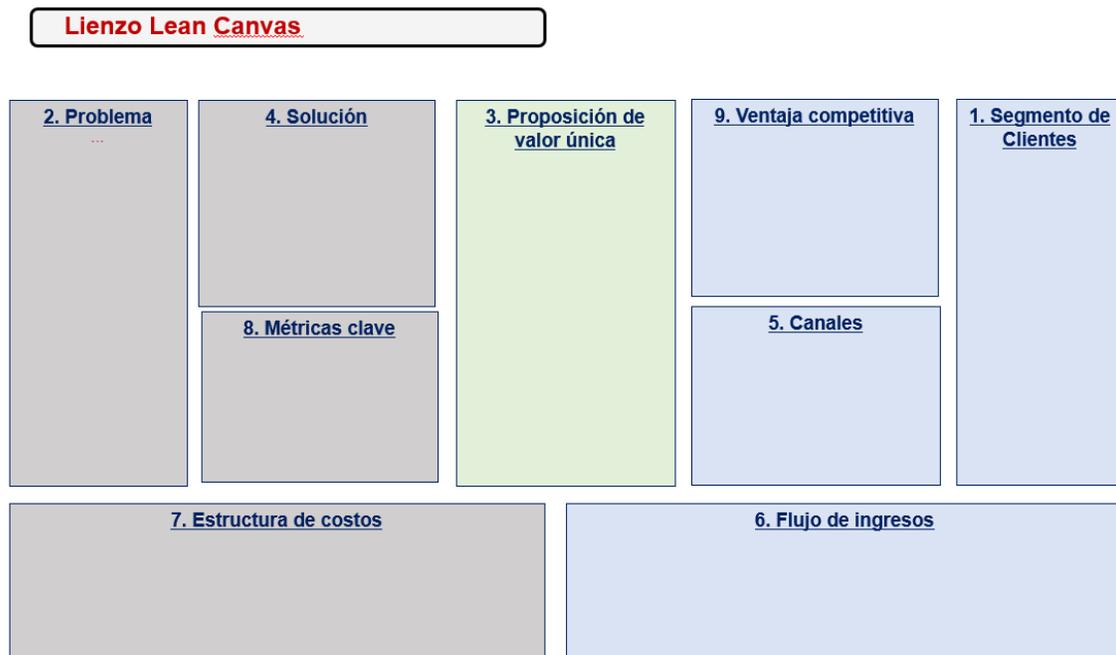
**Tabla 7 Objetivos, técnicas e instrumentos a utilizar en las diferentes fases.**

<b>Fase del proyecto</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>	<b>Entradas</b>	<b>Técnicas/ metodología</b>
Fase 1: Desarrollo técnico del sistema	Desarrollar el sistema para supervisión de cultivos agrícolas	Desarrollo del prototipo Pruebas de funcionamiento	Especificaciones de diseño  Prototipo funcional	
Fase 2: Evaluación técnica	Identificar la propuesta de valor y oportunidades de negocio para el desarrollo tecnológico	Descripción del proceso productivo  Evaluación de la tecnología	Información y especificaciones sobre el prototipo tecnológico  Prototipo terminado y funcional, así como su estudio técnico	Metodología TRL  5 fuerzas de Porter  Análisis PESTEL
Fase 3: Evaluación comercial	Establecer estrategias para la comercialización de la tecnología desarrollada	Comercialización	Estudio de mercado	Análisis FODA Análisis de mercado

### 3.1 Diseño metodológico

El caso de estudio es el desarrollo tecnológico llevado a cabo por su presente servidor, con la asesoría del M.C Omar Alejandro Cervantes Gloria perteneciente a la línea de automatización y sustentabilidad del Posgrado, Maestría en Ingeniería, del Tecnológico Nacional de México

Campus Querétaro (ITQ), para lo cual se determinó la utilización del Lienzo de modelo de negocios Lean Canvas, el cual tiene como objetivo analizar y visualizar los procesos necesarios para valorizar, comercializar y transferir al mercado y a la sociedad los activos basados en ciencia, tecnología e innovación disponibles en una organización (ver figura 13).



**Figura 13. Propuesta del Lienzo Lean canvas**

Cualquier organización (universidad, centro de investigación o empresa), puede utilizar el lienzo lean canvas para gestionar su tecnología. El lienzo contempla tres fases, cada una con tres etapas: la proposición de valor única, la identificación del segmento de clientes, así como la identificación del problema.

## CAPÍTULO CUATRO: DESARROLLO TÉCNICO DEL SISTEMA

### 4.1 Sensores utilizados en el sistema de adquisición de información

En recientes estudios e investigaciones orientadas al diseño, elaboración y utilización de sensores, se observa una creciente tendencia al uso de tecnologías inalámbricas que incluyen el uso de sistemas móviles, los cuales son cada vez más comunes, sin perder precisión en la calidad de los datos obtenidos. En cuanto al uso de sensores remotos, las investigaciones fueron orientadas a explorar los datos agrometeorológicos que es posible obtener mediante el uso de equipos remotos y sensores a distancia.

“La Agricultura de Precisión representa un gran reto para los fabricantes de maquinaria agrícola” (Ariza, 2010) ya que se requieren diseños robustos, con sistemas de medición, software especializado, control y ajuste de insumos; buscando disminuir los impactos medioambientales y los gastos de producción.

Para obtener buenos resultados mediante la implementación de la agricultura de precisión es necesario integrar diferentes componentes: información, tecnologías, software y personal capacitado. Esta integración se lleva a cabo eficientemente empleando sistemas de información geográfica (SIG), los cuales permiten adquirir, almacenar, procesar, visualizar y analizar datos e información espacial. Y además ofrecen un soporte para la toma de decisiones. (Martínez, 2017).

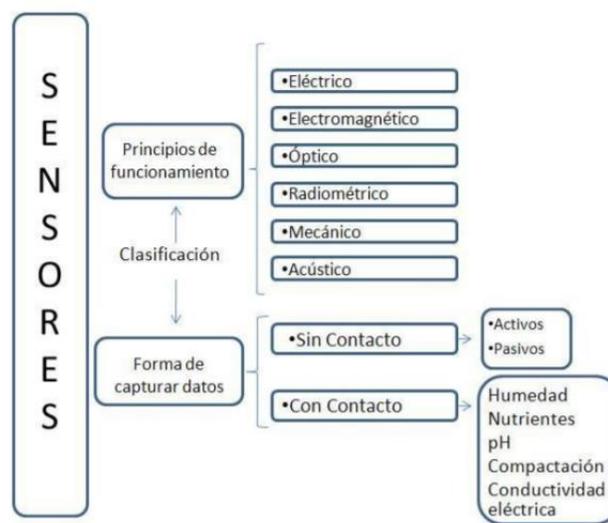


Figura 14. Clasificación básica de los sensores electrónicos.

Para el desarrollo del sistema de adquisición de datos propuesto se seleccionaron un grupo de sensores los cuales serán capaces de tomar mediciones de las variables necesarias, esta información se utilizó para alimentar la base de datos, sobre la cual opera el sistema de procesamiento de información, al mismo tiempo se realizó una selección de un grupo de sensores a utilizar en base a tres criterios principales:

- En base a la información requerida para el pronóstico de plagas y enfermedades de acuerdo a la metodología propuesta por los autores (Maldonado I. 2006), (Basualdo, A. B. 2016)
- En base al análisis de otros equipos similares disponibles en el mercado, además de la disponibilidad de los equipos electrónicos para su compra (estos sistemas se detallan a fondo en el capítulo uno)
- Priorizando el uso de sensores y transductores que tengan un alto nivel de protección frente a las condiciones meteorológicas, como pueden ser condiciones de lluvia, altos niveles de humedad, altos niveles de polvo, así como resistencia a una constante exposición a los rayos solares.

En base a los criterios anteriormente descritos, se tomó la decisión de utilizar los sensores incluidos en la tabla número 8.

**Tabla 8. Sensores utilizados por la estación de captura de datos**

Nombre del sensor	Descripción	Imagen de referencia
Sensor de Velocidad de viento (ADCON Pro10 Wind Speed)	Sensor de velocidad de viento manufacturado por la empresa ADCON Telemetry este es no solamente un sensor extremadamente preciso, sino que además es extremadamente robusto, hecho de un cuerpo de aluminio sin partes de plástico, tiene una muy baja velocidad de operación sin embargo pueden soportar vientos de hasta 80m/s incluso a temperaturas muy bajas. Diseñados para durar estos sensores cuentan con rodamientos muy robustos para evitar el desgaste, estos pueden soportar tormentas muy fuertes además en algún severo caso de daño son fácilmente reemplazables.	

**Figura 15. Sensor ADCON Pro10 Wind Speed.**

Nombre del sensor	Descripción	Imagen de referencia
Sensor Dirección viento (ADCON Pro10 Wind Direction)	Este sensor altamente profesional velocidad del viento se fabrica para ADCON por uno de los fabricantes de sensores más reputados de Alemania. La carcasa está hecha de aluminio resistente extremadamente robusto, para resistir incluso las condiciones más duras. Este sensor de velocidad del viento tiene un umbral de partida muy bajo de menos de 0.4 m/s, gracias a sus rodamientos de baja fricción duales aseguran una alta precisión y una larga vida útil.	 <p>The image shows the ADCON Pro10 Wind Direction sensor, which consists of a cylindrical metal housing with a white rectangular wind vane mounted on top. A black cable is connected to the bottom of the housing. The sensor is resting on a wooden surface.</p>
Sensor Temperatura y Humedad Relativa (ADCON TR1 Air Temperature & Relative Humidity Sensor)	<p>El sensor TR1 proporciona mediciones precisas y fiables de la temperatura del aire y humedad relativa. El cuerpo del sensor está totalmente sellado y en su interior contiene un sensor Pt1000, un elemento sensor de humedad a través de capacitancia y un amplificador de señal.</p> <p>El consumo de energía es extremadamente bajo, con un tiempo de estabilización de menos de 2 segundos. Los elementos sensores están protegidos contra el polvo por una tapa pantalla de malla de alambre. Otros filtros, tales como tapas de especiales para ambientes corrosivos.</p> <p>El sensor de humedad está cubierto por una capa protectora para extender su vida y evitar lecturas erróneas debido a la acumulación de polvo o productos químicos. El sensor está montado dentro de un escudo de radiación, hecho de durable termoplástico. El escudo de radiación está recubierto negro en el interior para evitar la acumulación de calor.</p>	 <p>The image shows the ADCON TR1 sensor, which is a cylindrical metal housing with a black cable attached. The sensor is mounted on a white, multi-layered protective shield. The entire assembly is resting on a wooden surface.</p>

Nombre del sensor	Descripción	Imagen de referencia
ADCON TR1 Solar exposure (CMP-3)	El sensor CMP-3 es un piranómetro el cual sigue las especificaciones de la norma ISO-9060. Mide la irradiancia en una superficie plana de los flujos radiantes en el rango de longitud de onda de 310 a 2800 nm por medio de un elemento de termopila.	
ADCON WMO	<p>El WMO es un medidor de precipitación para todo clima que utiliza tecnología basada en el peso para medir la cantidad e intensidad de la lluvia, la nieve y el granizo.</p> <p>El WMO fue desarrollado en conjunto con los servicios meteorológicos líderes en la industria, emplea una celda de carga de alta precisión y algoritmos que compensan el viento, la temperatura y la evaporación, asegurando las mediciones de precipitación de mayor precisión a lo largo del tiempo.</p>	

**Figura 18. Sensor ADCON TR1 Solar exposure** Fuente: ADCON Datasheet s.f.

**Figura 19. Sensor ADCON WMO** Fuente: ADCON Datasheet s.f.

Las tablas de información técnica, así como las especificaciones de cada sensor utilizado se encuentran dentro del apéndice número uno.

De acuerdo a los manuales consultados y a los requisitos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se determinó montar los sensores sobre un poste metálico galvanizado con una altura de 2.80metros y un diámetro de 40 mm, en el caso de los sensores TR1 se utilizó un brazo de montaje 40 cm de largo para proporcionar una distancia adecuada al poste.

#### 4.2 Microcontrolador utilizado en el sistema de adquisición de información

En la actualidad se han observado profundos cambios tecnológicos tales como el desarrollo a niveles inesperados de la electrónica, un uso intensivo de las tecnologías de la información y así como una mejora en los protocolos de telecomunicación, estos han impulsado la difusión de la agricultura de precisión. Estas mejoras sustanciales han alcanzado el nivel en que es posible para un productor agrícola el medir, analizar, y manejar la variabilidad dentro de los

lotes logrando adecuar el manejo de suelos y cultivo. Sin embargo, es importante destacar que el uso de estas tecnologías pueden representar altos costos o, al menos en la superficie pueden percibirse de esa manera si no se analizan sus ventajas, actualmente, de manera general se puede mencionar que la agricultura sigue llevándose a cabo mediante el uso de métodos tradicionales, sin considerar las consecuencias de seguir empleando viejas tradiciones en el sector mientras que el resto de actividades en diferentes arcos (especialmente aquellas de la rama industrial) experimentan una continua evolución.

En palabras de Garcia (2018), “los sistemas embebidos tales como Raspberry Pi y Arduino se presentan como semilleros para innovar en la agricultura ofreciendo soluciones económicas, sustentables, robustas y de código abierto para contribuir a la construcción colectiva de una seguridad alimentaria global” (p.2).

Para el desarrollo de la unidad de adquisición de datos (datalogger), así como del sistema de comunicación remoto se optó por el uso de un Microcontrolador Atmega328 Arduino.

Un microcontrolador (abreviado  $\mu$ C, UC o MCU) es “un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida” (ARDUINO, 2020).

Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 kHz, con un consumo de baja potencia (mW o microvatios). Por lo general, tendrá la capacidad de mantenerse a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción; así, el consumo de energía durante el estado de reposo (reloj de la CPU y los periféricos de la mayoría) puede ser sólo de nanovatios, lo que hace que muchos de ellos sean muy adecuados para aplicaciones con batería de larga duración (Gunther Gridling, 2007).

Adicionalmente los sistemas basados en el uso de Microcontroladores Arduino tienen algunas características que le proporcionan ventajas sobre el uso de otro tipo de sistemas como son:

- Alta compatibilidad con equipos externos

En la actualidad existen una gran cantidad de microcontroladores y plataformas disponibles para la computación física entre las cuales se pueden mencionar Parallax

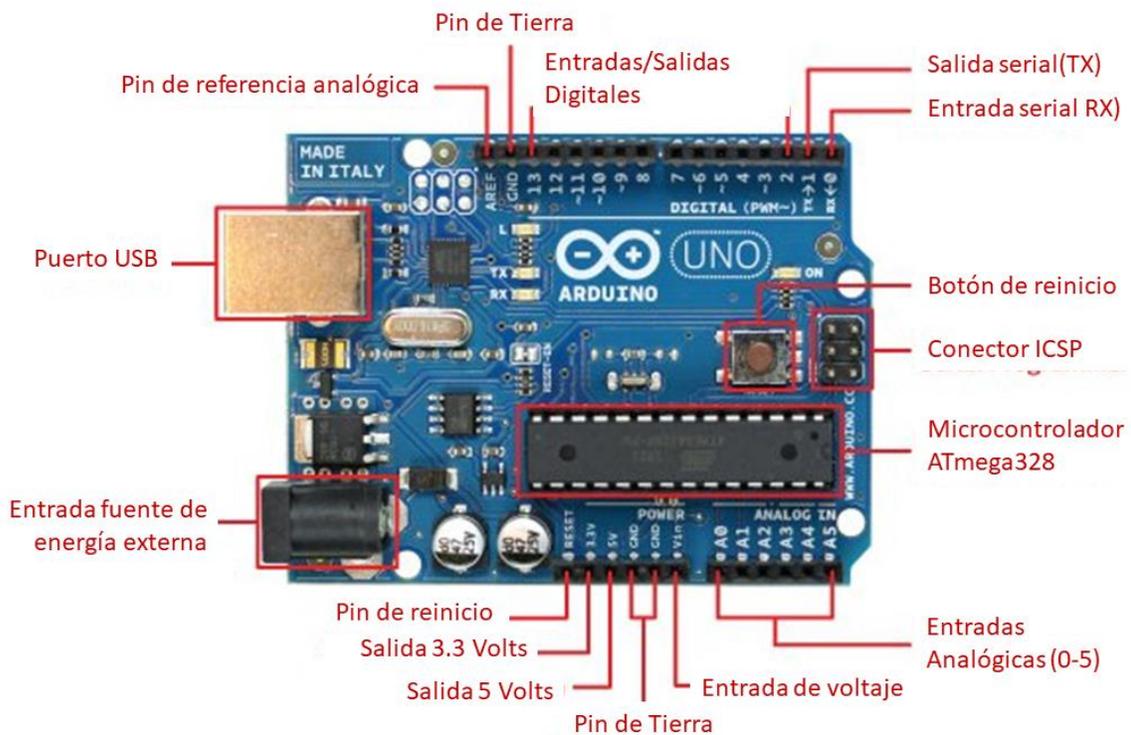
Basic Stamp, BX-24 de Netmedia, Phidgets, Handyboard del MIT, y muchos otros con características equivalentes sin embargo el uso de una plataforma basada en permite simplificar el proceso de trabajar con microcontroladores, ofreciendo algunas ventajas respecto a otros sistemas como lo son:

El uso de microcontroladores ATMEGA328 proporciona catorce pines digitales contenidos en la placa de desarrollo, los cuales pueden ser utilizado tanto como una entrada de señales o como una salida, en donde todos los pines operan en 5 volts. (Fig. 20), cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia de pull-up (desconectado por defecto) de 20 a 50 kOhm.

Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

Serial: 0 (RX) y 1 (TX) Se utiliza para recibir (RX) y transmitir datos en serie (TX) TTL

PWM: 3, 5, 6, 9, 10, y 11. proporcionar una salida PWM de 8 bits” (ARDUINO, 2020).



**Figura 20 Diagrama de pines Arduino UNO. Fuente: ARDUINO, 2020**

- Utilizan librerías de código con fuentes abiertas y libres de copyright  
 Arduino está basado principalmente en el uso de los microcontroladores ATMEGA168, ATMEGA328 y ATMEGA1280. Los planos esquemáticos, diagramas de conexión así como guías y manuales de los módulos se encuentran publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores de circuitos electrónicos digitales con

experiencia pueden crear libremente su propia versión de la placa de desarrollo, ampliándola u optimizándola de acuerdo a la necesidad.

Basada en la filosofía del software libre, “Arduino es una plataforma de electrónica “open-source” o de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar. Básicamente lo que permite esta herramienta es la generación de infinidad de tipos de microordenadores de una sola placa, que luego pueden tener una amplia variedad de usos según la necesidad de la persona que lo cree” (ARDUINO, 2020).

La Fundación Aquae (2018) menciona que esta plataforma se inició en el año 2005 como un proyecto para estudiantes en el Instituto IVREA, en Ivrea (Italia). Una vez concluida dicha plataforma, los investigadores trabajaron para hacerlo más ligero, económico y disponible para la comunidad de software libre (hardware y código abierto). El instituto finalmente cerró sus puertas, así que los investigadores, tomaron la decisión de publicar libre de embargo su trabajo.

- Bajo consumo de energía eléctrica

El abanico de aplicaciones desarrolladas mediante esta plataforma es cada vez mayor. Muchas de estas aplicaciones tienen limitados los recursos energéticos, por ello se hace necesaria la optimización del consumo de energía (Fernández, 2014)

El consumo de energía eléctrica es una de las limitantes más grandes que se presentan para poder implementar satisfactoriamente la instalación de equipos datalogger en locaciones remotas en donde no se cuenta con acceso a la red eléctrica interconectada, debido a eso, por lo general para energizar este tipo de sistemas se utilizan de baterías recargables (típicamente compuestas de iones de litio (Li-Ion) o baterías de níquel-cadmio (NiMH)), debido a que esta no es una solución a largo plazo se debe priorizar el uso de sistemas que demanden bajas corrientes. Este dato es de vital importancia para aplicaciones a las que no se tenga fácil acceso y requieran cierto grado de autonomía. Estaciones submarinas o meteorológicas, sistemas autónomos de medida, podrían ser alguno de estos ejemplos. Así pues, se tiene una herramienta útil, potente, sencilla y barata que ofrece multitud de posibilidades, pero poco práctica

para diseños que deban trabajar de forma autónoma durante largos períodos de tiempo. (Fernández, 2014)

- **Sistemas de bajo costo**

Arduino es una plataforma de desarrollo programable integrada por entradas y salidas tanto digitales como analógicas, su bajo costo la convierte en una base ideal para proyectos. Como se ha visto, y gracias a la sinergia que existe entre arduino y los microcontroladores ATMEGA, tiene un rango de precios muy por debajo a comparación con el resto de los equipos o microcontroladores que existen en el mercado como pueden ser e PIC, AVR, Texas instruments, etc.

Adicionalmente es importante recalcar que gracias a su construcción tan básica y simple de utilizar prácticamente no requieren de mantenimiento, únicamente se debe asegurar de las fuentes de alimentación estén correctamente funcionales y que los pines utilizados por los sensores y/o módulos utilizados se encuentren en buenas condiciones de uso.

Dentro del apéndice número dos se presenta para consulta la tabla con las especificaciones técnicas de la placa de desarrollo Arduino UNO.

### **4.3 Módulo de comunicación utilizado en el sistema de adquisición de información**

Un aspecto que se consideró durante el proceso de selección de los dispositivos de comunicación fue la disponibilidad de señal de telecomunicaciones dentro del área donde se planea instalar la estación meteorológica, debido a que típicamente las áreas de cultivo seleccionado (zarzamora) se encuentran locaciones relativamente remotas, al cruzar información de las principales áreas de producción de zarzamora en el país: Michoacán, Jalisco, Guanajuato (información presentada dentro del capítulo correspondiente al análisis del mercado) con la información presentada en la página web por el proveedor Radiomóvil Dipsa S.A. de C.V. el investigador pudo comprobar que la mayoría del territorio objetivo actualmente cuenta con un nivel de señal adecuado para operar, esto a través de un mapa que contiene las locaciones que cuentan con servicio GPRS/GSM (Ver fig.21).



**Figura 21. Mapa de cobertura señal telecomunicaciones GSM en México Fuente: Radiomóvil Dipsa SA de CV, 2021**

Para el sistema de comunicación remoto se utilizó el módulo GPRS/GSM Shield, el cual está compuesto principalmente de una tarjeta Sim900 ultra compacta de comunicación inalámbrica.

“El Shield GPRS/GSM SIM900 es una forma sencilla de conectar proyectos con Arduino a la red celular y de esta forma poder enviar y recibir mensajes de texto (SMS), llamadas de voz y hasta conectarte a Internet vía GPRS y entrar así al mundo del Internet de las cosas”. (Naylampmechatronics, 2018). El Shield SIM900 trabaja en las bandas GSM de 850/900/1800/1900 MHz.

La tarjeta es retro compatible con todos los modelos de Arduino que utilicen el formato UNO (Fig.22). Dicha tarjeta está basada en el módulo SIM900/Sim800l y requiere una tarjeta SIM de tamaño completo. La tarjeta GPRS está configurada y controlada por vía UART usando comandos AT.



**Figura 22. Modulo Arduino GPRS/GSM Shield Fuente: Naylampmechatronics, 2018**

La tabla con las especificaciones técnicas de la placa de desarrollo GPRS/GMS Shield puede ser consultada dentro del apéndice número tres.

#### 4.4 Desarrollo de la estación de captura de datos meteorológicos

A partir de la literatura encontrada, y en base a los recursos actuales, en esta investigación se hizo una propuesta para un sistema para supervisión de un cultivo agrícola basada en el uso de plataformas IoT de hardware libre, servicios web, bases de datos en línea o plataformas en la nube y protocolos de comunicación, implementándose en un entorno de agricultura de precisión.

Una vez que fueron definidos tanto el tipo de sensores, el módulo de comunicaciones así como el tipo de microcontrolador necesario para la aplicación, se procedió a diseñar el algoritmo encargado de controlar la estación de captura de datos meteorológicos, considerando los procesos necesarios desde el encendido de los equipos (tanto sensores como módulos de comunicación), la toma de los datos, así como él envió de la información a la nube, para finalmente llegar a la puesta en disponibilidad de los datos para su consulta por el usuario, el proceso general a seguir por el algoritmo se muestra en la figura 23.



**Figura 23 Algoritmo de operación**

El primer paso (y que para los procesos futuros se le considera como el estado inicial) es el encendido del microcontrolador, para esto se debe suministrar corriente eléctrica de manera predeterminada y de forma permanente al realizar el conexionado con las baterías.

Para esto se consideraron los requerimientos tanto de voltaje como de corriente para los componentes a utilizar estos se muestran en la tabla 9.

Como fuente de energía se utilizó un paquete integrado por cinco baterías compuestas principalmente de níquel-metalhidruro las cuales proporcionan un voltaje estable de corriente directa de 9 volts, cada una de estas baterías cuenta con una capacidad de 3300mAh, el paquete de baterías se muestra en la figura 24.

**Tabla 9. Requerimientos eléctricos de los componentes utilizados**

<b>Componente electrónico</b>	<b>Voltaje de operación DC(V)</b>
Sensor ADCON Pro10 Velocidad de viento	6 - 10
Sensor ADCON Pro10 Dirección de viento	6 - 10
Sensor ADCON TR1 Temperatura del aire y humedad relativa	4.5 - 15
Sensor ADCON TR1 Exposición solar	4.8 – 10.2
Sensor ADCON WMO pluviómetro	6-15
Microcontrolador Arduino UNO	7-20
Módulo de comunicaciones GPRS/GSM Shield SIM900	5-12



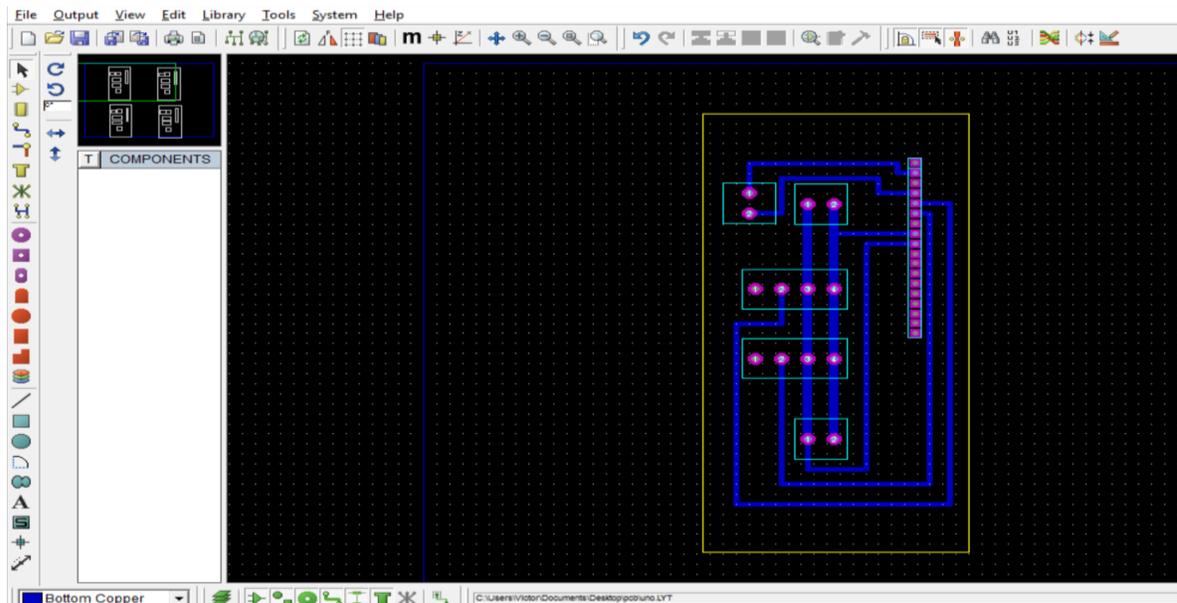
**Figura 24. Paquete de baterías para energizar la estación meteorológica**

Una vez que se contaban con todas las especificaciones técnicas necesarias para la operación de los componentes seleccionados, se procedió a realizar el diseño de un circuito electrónico con las características siguientes:

- Deberá ser capaz de energizar los sensores con el accionamiento de un relevador permitiendo conexión y desconexión
- Contar con terminales adecuadas para interconectar las señales de salida de los sensores con los puertos ADC del microcontrolador.

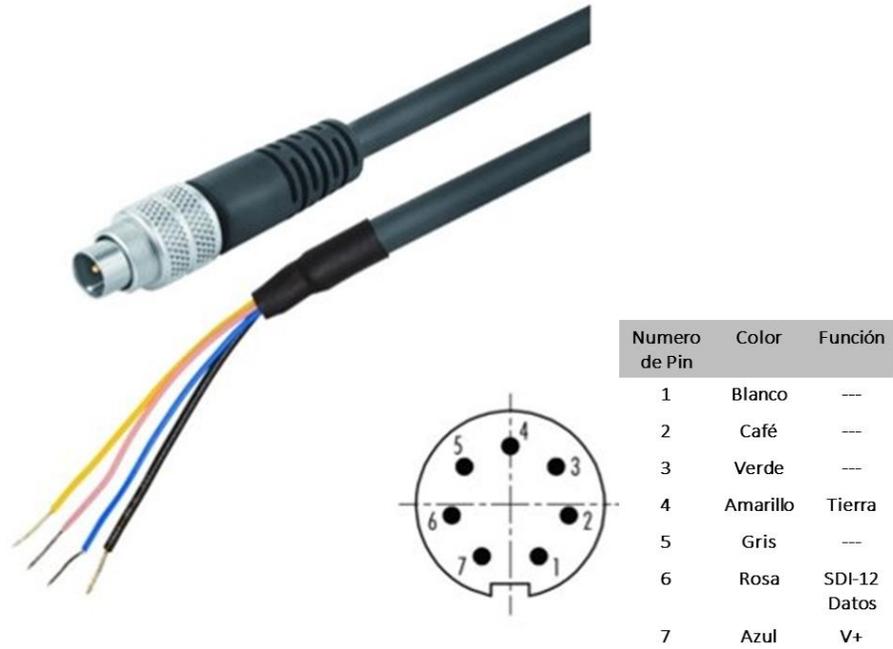
- Tener un modelo de forma que permita ser conectado tanto con el módulo de comunicación como con la placa de desarrollo Arduino, preferentemente estilo “Plug and play”

Para poder llevar a cabo esta actividad se adquirió una licencia de uso temporal para el software Proteus Design Suite® específicamente el módulo “ISIS” una vez que fue simulado y que se contaba con un diseño adecuado a lo requerido, se procedió a exportar el diseño de la circuitería al módulo “ARES” dentro del cual se diseñó una plantilla que posteriormente permitió la construcción de un prototipo del circuito impreso (PCB), ver figura 25.



**Figura 25. Diagrama Esquemático PCB**

Para el armado del prototipo se utilizó un gabinete hecho de metal (figura 28) para asegurar que tanto el módulo de adquisición de información, el módulo de comunicaciones, el módulo GSM900, el PCB y el paquete de baterías se encuentren protegidos de las inclemencias climáticas, dicho gabinete fue adaptado utilizando con una serie de conectores y SDI-12 5-Pin los cuales corresponden a las terminales a prueba de agua utilizadas en los sensores ADCON como se muestra en las figuras 26,27 y 28.



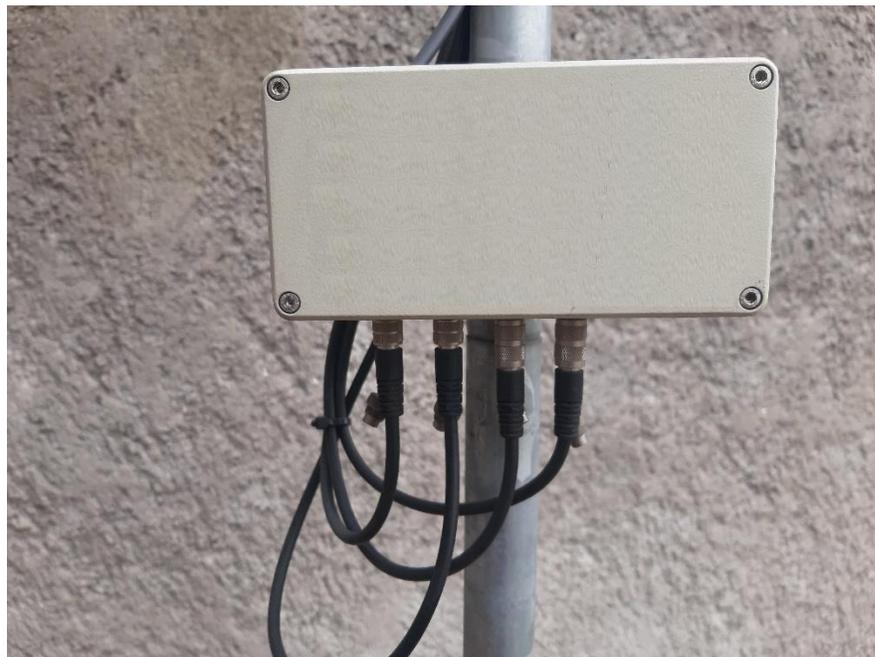
**Figura 26 Diagrama de distribución de pines en conector SDI-12 7PIN Fuente: ADCON Datasheet s.f.**



**Figura 27. Terminal conector SDI-12 5PIN**



**Figura 28. Características físicas conectores SDI-12**



**Figura 29. Gabinete del sistema datalogger con cuatro sensores conectados**

Una vez que tanto la placa de conexionado como el microcontrolador se encuentran en estado operativo se procedió con las etapas de recolección y envío de información del algoritmo mostrado en la figura 22.

A continuación, se presentan fotografías (Ver fig.23 y 31) del prototipo terminado de la estación de recolección y envío de datos agrometeorológicos.

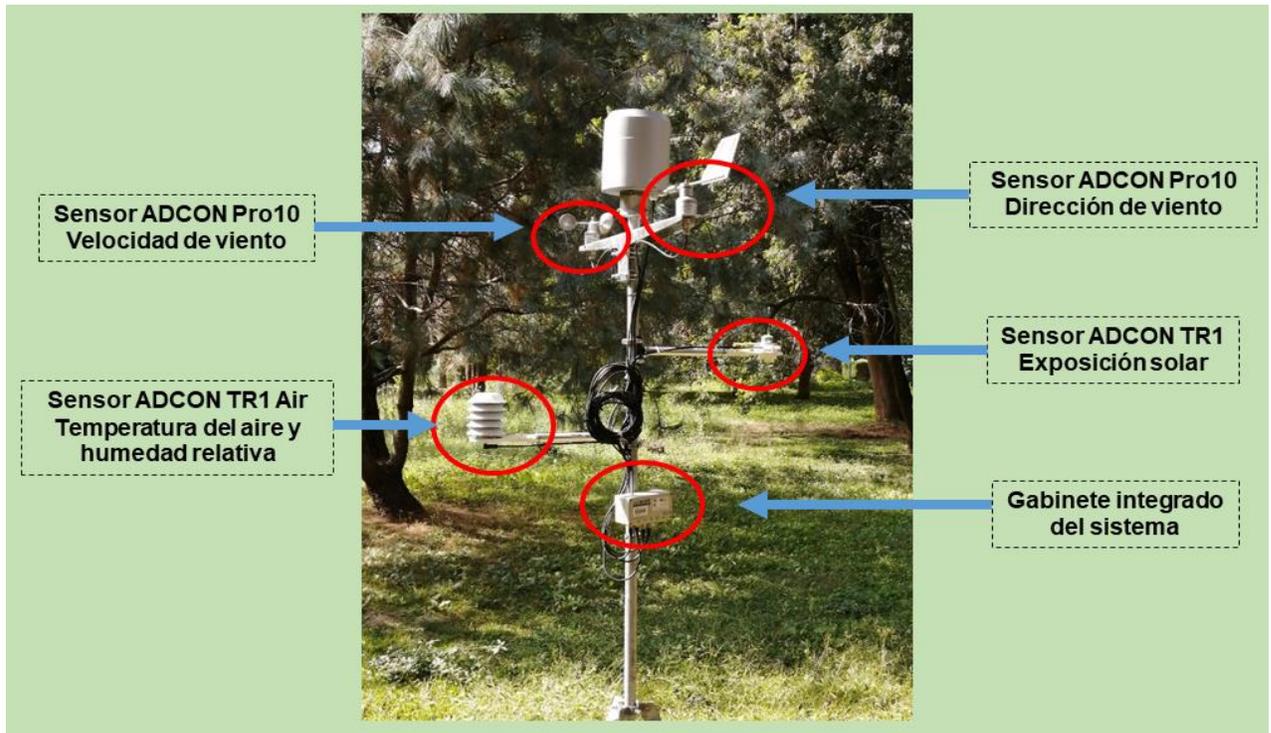


Figura 30 Prototipo terminado de la estación agrometeorológica

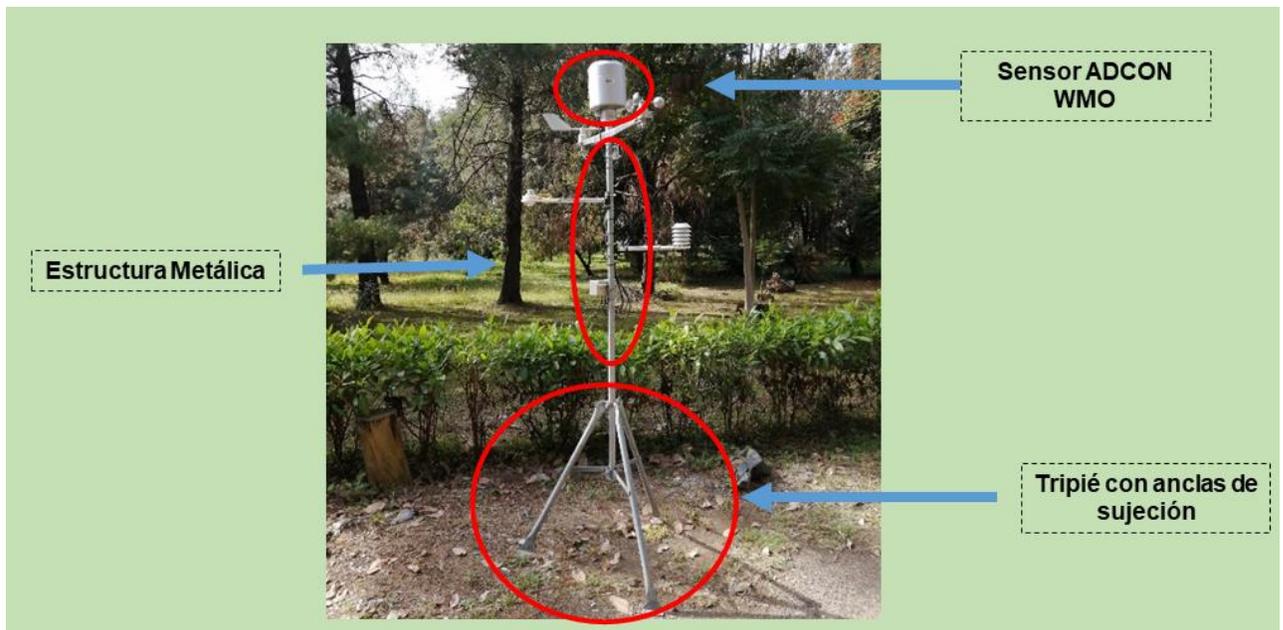
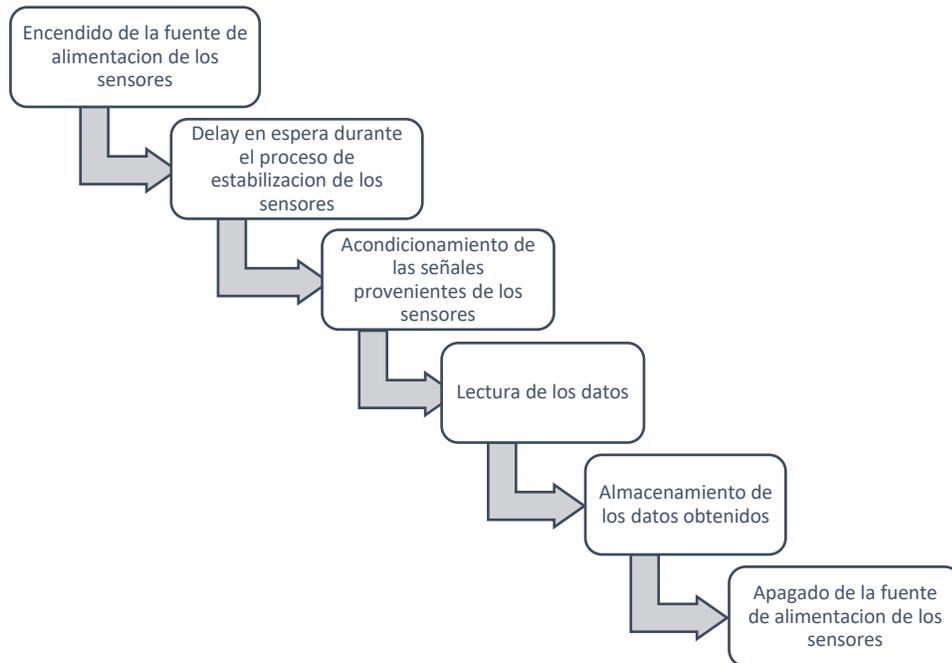


Figura 31 Cont. Prototipo terminado de la estación agrometeorológica

#### 4.4.1 Recolección de los datos

En esta etapa se consideraron los procesos necesarios para llevar a cabo la lectura de los sensores ambientales, para esto se diseñó el diagrama de la figura número 32, algoritmo de procesos a seguir por el microcontrolador.



**Figura 32. Proceso de recolección de datos**

A continuación, se presenta parte del código programado en el software Arduino IDE, el cual es utilizado por el microcontrolador para llevar a cabo el proceso de acondicionamiento de las señales, la lectura de los datos y el almacenamiento dentro de las unidades de memoria(fig.33). Para esta etapa se utilizaron los puertos ADC correspondientes al puerto “A” del microcontrolador ATmega328, cada uno de los pines tienen una resolución de 10bits.

```

case 0:
lectura = analogRead(A0);           //lectura de
posicion
voltage = lectura * (5.0 / 1023.0);
valor1= voltage*(360.0/2.5);
delay(500);
lectura = analogRead(A1);         // lectura de velocidad
voltage = lectura * (5.0 / 1023.0);
valor2= voltage*(55.56/2.5);
delay(500);
lectura = analogRead(A2);         // lectura de
temperatura
voltage = lectura * (5.0 / 1023.0);
valor3= voltage*(60.0/2.5);
delay(500);
lectura = analogRead(A3);         // lectura de humedad
voltage = lectura * (5.0 / 1023.0);
valor4= voltage*(100.0/2.5);
delay(1000);
state=1;
break;

```

**Figura 33. Código encargado del proceso de lectura de los sensores**

Una vez que los datos fueron recolectados y almacenados satisfactoriamente, se realiza el apagado de la fuente de alimentación de los sensores con el objetivo de ahorrar energía dentro de las baterías.

#### 4.4.2 Envío de los datos

Con los datos fueron recolectados y almacenados dentro de la memoria interna del microprocesador, se lleva a cabo el segundo paso del algoritmo de la figura 22, para ello, el microcontrolador realiza el encendido del equipo de comunicación GPRS/GSM SIM900, este módulo a su vez debe realizar una conexión a la red de banda ancha celular, correr una prueba de conexión y, una vez que el sistema asegura una conexión estable con la red GPRS, procede a enviar las credenciales de identificación para obtener el acceso al internet. Parte del código utilizado para llevar a cabo este proceso se encuentra en la figura 34.

```

case 1:
delay(2000);
GPRS.println("AT");
Serial.println("Ar: AT");
delay(3000);
GPRS.println("AT+CIPSHUT");
Serial.println("Ar: AT+CIPSHUT");
delay(3000);
GPRS.println("Ar:
AT+CSTT=\"internet.itelcel.com\", \"webgprs\", \"webgprs
2002\""); delay(3000);
GPRS.println("AT+CIICR");
delay(3000);
GPRS.println("AT+CIFSR");
delay(3000);
GPRS.println("AT+CIPSPRT=1");
State=2;
break;

```

**Figura 34. Código correspondiente al conexionado a la red móvil**

Cuando el dispositivo asegura que existe un acceso al conjunto de redes de comunicaciones interconectadas TCP/IP (internet), se procede a establecer un puente de conexión directo con el servidor central de almacenamiento y procesamiento de información, todo esto mediante el uso de API keys. En la figura 35 se encuentra parte del código utilizado para llevar a cabo esta conexión.

```
case 2:

GPRS.println("AT+CIPSTART="TCP",\api.altairsmartc
ore.com",\80");
delay(3000);
GPRS.println("AT+CIPSEND");
Data=
"{\"protocol\":\v1\", \"checksum\": \"\", \"device\": \"\"+Strin
g(DEVICE)+\", \"at\": \"now\", \"data\": {\\"valor1\": \"\"+String
(valor1,DEC)+\", \"valor2\": \"\"+String(valor2,DEC)+\", \"v
alor3\": \"\"+String(valor3,DEC)+\", \"valor4\": \"\"+String(val
or4,DEC)+\"}\"}";
longitud = data.length();
GPRS.println("POST /streams HTTP/1.1");
GPRS.println("Host: api.altairsmartcore.com");
GPRS.println("Accept: application/json");
GPRS.println("User-Agent: Arduino-SmartCore");
GPRS.println("Content-Type: application/json");
GPRS.println("Apikey: " + String(API_KEY));
GPRS.println("Content-Length: " + String(longitud));
GPRS.println("Connection: close");
GPRS.println();
GPRS.println(data);
delay(1000);
GPRS.write(26);
GPRS.println();
delay(3000);
state=0;

break;
```

**Figura 35. Código encargado de realizar él envío de los datos al servidor central en la nube**

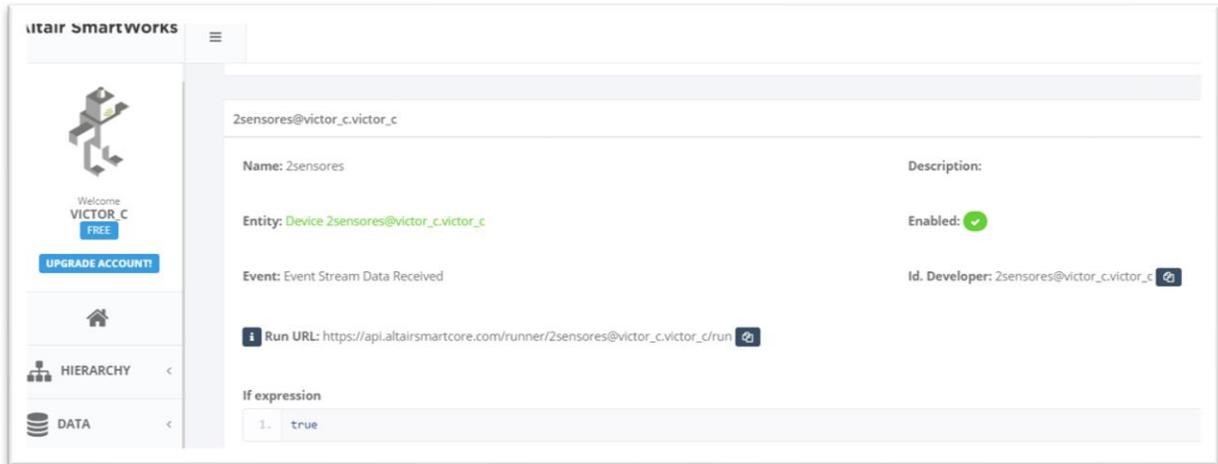
#### 4.4.3 Recepción de los datos

Una vez que la información fue enviada durante el proceso anterior es recibida dentro de los servidores API correspondientes a un servidor privado en la nube propiedad de la compañía ALTAIR Smartworks.

Altair. SmartWorks ofrece herramientas dinámicas y un entorno colaborativo para resolver problemas complejos, acelerar la transformación e impulsar el valor comercial.

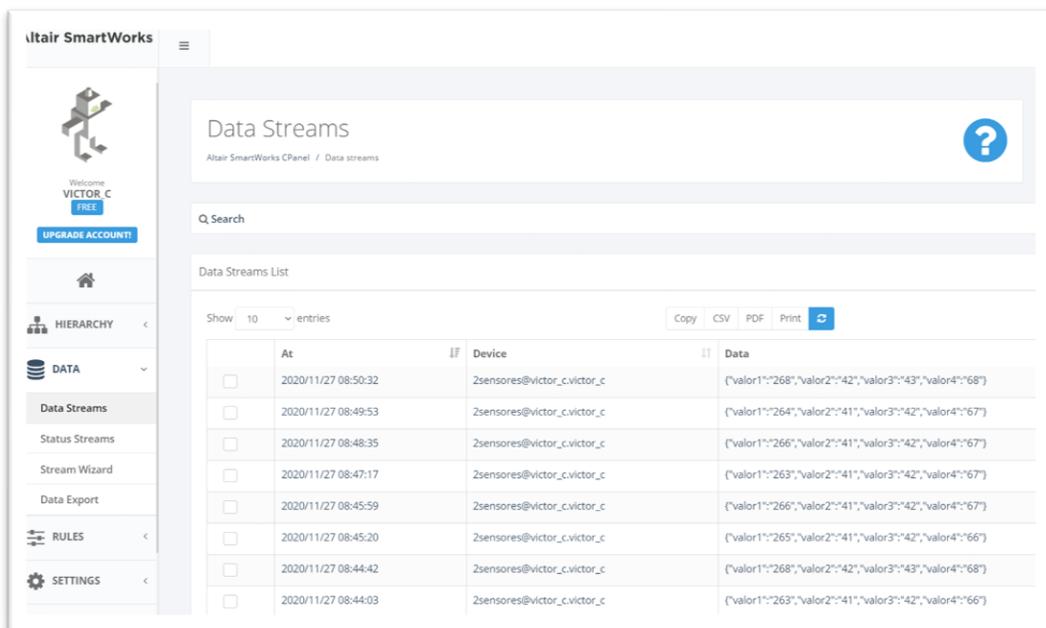
Las soluciones de Altair para orquestación de cargas de trabajo HPC, gestión de recursos, acceso de usuarios, análisis y más potencian los principales centros meteorológicos de todo el mundo, ver imagen 36.

El tiempo es siempre un factor crítico, es por ello que se optó por utilizar la soluciones Altair® PBS Works, debido a que, de esta forma se asegura que las cargas de trabajo de simulación y modelado del clima se ejecuten de la manera más rápida y eficiente posible, aprovechando al máximo los recursos.



**Figura 36. Ventana principal software Altair Smartworks**

Dentro de la suite del software existe una opción denominada "data streams" (fig.37) los cuales son scripts que permiten crear flujos de información directos entre los dispositivos IoT y los servidores centrales en la nube, todo esto mediante el uso de comandos JavaScript Object Notation (JSON), permitiendo el almacenamiento a largo plazo de la información.



**Figura 37. Ventana "Data Streams" software Altair Smartworks**

Dentro de este servidor se puede realizar la creación de proyectos y dispositivos de tipo IoT con claves API específicas, así como la puesta en marcha de “listeners” los cuales quedan a la espera de información para llevar a cabo comandos preestablecidos.

En este caso se realizó la creación de un “listener” el cual queda a la espera de una señal de activación (trigger), con el objetivo de tomar los datos recién recibidos y almacenados y realizar una exportación directamente hacia un documento que se encuentra en la nube en formato .xls (Tabla de datos).

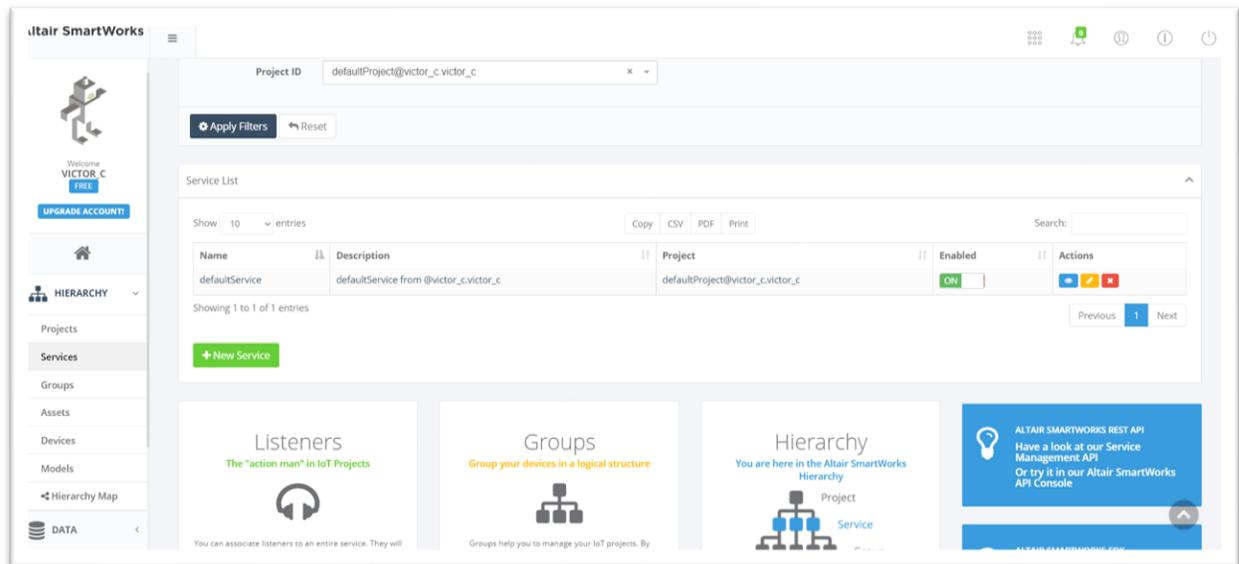


Figura 38. Ventana de servicios dentro del software Altair Smartworks

#### 4.4.4 Procesamiento de los datos

La unidad de procesamiento, está encargada de analizar y comparar la información obtenida con modelos previamente existentes sobre las condiciones ambientales que propician la proliferación de plagas, el desarrollo de enfermedades

Para asegurar la correcta interpretación de las variables se utilizó un sistema de análisis de los datos utilizando lógica difusa aprovechando el poder de la inteligencia artificial (IA), el análisis computarizado, así como el internet de las cosas con el ecosistema de datos nativos de la nube de última generación.

Para este sistema se utilizó como base y modelo de comparación información acerca de las diferentes etapas fenológicas correspondiente al cultivo de zarzamoras, a además de las principales bases de datos sobre comportamientos y comportamiento de las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo. Esta información fue proporcionada por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias), centro de investigación agrícola especializado en plagas y enfermedades.

En la tabla número 9 se puede observar un ejemplo del tipo de información que es ingresada a la base de datos, se muestra una proyección estimada sobre las diferentes etapas en que se encontrará el ciclo de vida del gusano de la raíz, el sistema toma esta proyección y la compara mediante un sistema de lógica difusa, haciendo un análisis del grado de pertenencia que tienen los datos recolectados contra la etapa de proyectada del estado de la plaga, generando predicciones sobre el estado actual.

Es importante destacar que para fines de la presente tesis únicamente se utilizó el modelo predictivo del gusano de la raíz, plaga que afecta principalmente a cultivos de berries y de maíz.

**Tabla 10. Proyecciones de acuerdo a la etapa morfológica**

Variable	Fecha			
	29 julio	19 agosto	09 sep.	29 sep.
Unidades Calor acumuladas	262	340	560	600
Humedad Relativa Promedio	40%	30%	70%	55%
Temperatura Promedio	27°C	29°C	29°C	26°C
Etapa del ciclo de vida (Gusano de la raíz)	Larva 1	Larva 2	Pupa	Adulto

Fuente: INIFAP, 2013

A partir de las predicciones que genera el sistema son activadas una serie de alertas las cuales tienen como objetivo notificar a los técnicos encargados del cultivo y a quien sea pertinente (Ej. Propietario del predio, técnicos empleados en las juntas de sanidad vegetal, terceros especialistas, etc.) sobre las posibles consecuencias de los eventos climáticos del momento para la asistencia en la toma de decisiones de acciones preventivas o correctivas que permitan llevar a cabo un ciclo de cultivo exitoso Un ejemplo de estas son:

- Alertas sobre las distintas etapas fenológicas de las plantas
- Alertas sobre condiciones propensas para la aparición de plagas

- Alertas de tiempo de corte
- Alerta por baja humedad del suelo
- Seguimiento de variables agroclimáticas

Estas alertas son enviadas por medio del uso del sistema de comunicación inalámbrico utilizando tecnología SMS (Short Message Service) la cual utiliza las redes del proveedor Radiomóvil Dipsa S.A. de C.V.

Se optó por utilizar esta tecnología ya que es un método muy simple, rápido y eficiente para enviar información de relevancia, la cual no requiere del uso de equipos o aplicaciones especializadas.

#### **4.4.5 Información disponible para consulta**

Una vez que la información fue procesada y almacenada en los pasos anteriores, dicha información es redireccionada por medio del uso de comandos JSON hacia un documento en formato .xls el cual se encuentra en la nube hospedado dentro de los servidores de Google Drive, permitiendo el acceso a la información desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

Dentro de este documento se encuentran todos los registros históricos, así como una serie de graficas e indicadores, los cuales presentan la información de una forma muy concreta, con una interfaz amigable y simple para el usuario final. El uso de una plataforma tan popular como Google Drive permite compartir, y reenviar la información entre una gran cantidad de usuarios, así como proteger la información que es más sensible por medio de un sistema de contraseñas y acceso solo por invitación.

La información es recibida y actualizada en tiempo real, tomando aproximadamente un minuto entre el momento en que es tomada la lectura por la estación de captura de datos meteorológica y el tiempo en que se ve reflejada dentro del documento en la nube.

Sensores ☆ 📁 ☁

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Formulario Complementos Ayuda Última modificación hace unos segund...

100% € % .0 .00 123 Arial 10 B I S A

fx Cantidad de Agua

	A	B	C	D	E	F	G	
1	Marca temporal	Fecha	Direccion Viento	Velocidad Viento	Temperatura	Humedad Relativa	Exposicion solar	
223	27/11/2020 8:38:52	27-11-2020 14:38:51		266	41	42	67	0.6
224	27/11/2020 8:39:32	27-11-2020 14:39:31		263	10	20	67	0.6
225	27/11/2020 8:40:10	27-11-2020 14:40:09		263	10	20	50	0.6
226	27/11/2020 8:40:49	27-11-2020 14:40:48		268	10	20	50	0.6
227	27/11/2020 8:41:28	27-11-2020 14:41:27		268	14	20	50	0.6
228	27/11/2020 8:42:07	27-11-2020 14:42:06		266	14	20	50	0.6
229	27/11/2020 8:42:46	27-11-2020 14:42:45		267	14	20	50	0.6
230	27/11/2020 8:43:24	27-11-2020 14:43:24		269	14	20	50	0.6
231	27/11/2020 8:44:04	27-11-2020 14:44:03		263	13	20	50	0.6
232	27/11/2020 8:44:42	27-11-2020 14:44:42		268	12	20	50	0.6
233	27/11/2020 8:45:21	27-11-2020 14:45:20		265	14	20	50	0.7
234	27/11/2020 8:46:00	27-11-2020 14:45:59		266	14	21	50	0.7
235	27/11/2020 8:47:18	27-11-2020 14:47:17		263	14	21	50	0.7
236	27/11/2020 8:48:36	27-11-2020 14:48:35		266	13	21	50	0.7
237	27/11/2020 8:49:54	27-11-2020 14:49:53		264	13	21	51	0.7
238	27/11/2020 8:50:33	27-11-2020 14:50:32		268	14	21	51	0.7

Figura 39. Ejemplo de un documento formato .xls almacenado en la nube

Tabla 11. Unidades de medición de las lecturas presentadas

Variable Física a Medir	Unidad de medida
Dirección viento	Grados acimut
Velocidad viento	$\frac{km}{h}$
Temperatura	°C
Humedad relativa	%
Exposición solar	$\frac{W}{m^2}$
Precipitación pluvial	$\frac{mm}{min}$

## **CAPÍTULO CINCO: ESTUDIO TÉCNICO**

### **5.1 Estudio Técnico**

Los objetivos del análisis técnico de un proyecto son verificar la posibilidad técnica de la fabricación del producto que se pretende además de analizar y determinar el tamaño, la localización, los equipos, las instalaciones y la organización óptimos requeridos para realizar la producción (Baca Urbina, 2016).

Dentro del presente capítulo se presenta el estudio técnico utilizado para realizar la evaluación del producto tecnológico desarrollado en el capítulo anterior, el estudio se encuentra conformado por los puntos siguientes:

- Planeación estratégica
  - Determinación de valores, misión y visión de la organización
  - Determinación del nivel de maduración tecnológica
  - Análisis del entorno
  - Objetivos a largo plazo
  - Plan de acción
- Determinación de la localización óptima
- Disponibilidad y costo de suministros e insumos
- Identificación del proceso productivo
- Determinación organizacional humana y jurídica

### **5.2 Planeación estratégica**

La planeación estratégica es una actividad administrativa y un proceso organizacional que define la dirección y el objetivo de una organización en el largo plazo, en general, consiste en pensar por adelantado aquello que se desea alcanzar, los medios necesarios y la forma de conseguirlos, de manera que la planeación es una representación mental y escrita de la visión y éxito en el futuro (Baca Urbina, 2016).

De esta forma, la planeación estratégica no solo se encuentra en las estrategias de penetración y permanencia en el mercado, sino en el mejoramiento de la calidad del producto, en el mejoramiento y mayor control de los procesos de producción, e efficientizar las

actividades de distribución, entre muchas otras actividades que harán a la empresa más competitiva y, por lo tanto, aumentarán sus probabilidades de éxito (Baca Urbina, 2016).

### **5.2.1 Determinación de valores, misión y visión**

La formulación de estrategias debe ser un proceso controlado, consciente y formal, que se descompone en diversos pasos, cada uno de ellos delineados en razón de las listas de revisión y apoyado por técnicas y herramientas. La planeación estratégica empieza, de acuerdo con Henry Mintzberg, con el establecimiento de la misión, visión y objetivos de la nueva empresa. (Henry, 1997).

Valores Clave:

Calidad, Innovación, sustentabilidad, compromiso ambiental, honestidad.

Misión:

Transformar las tareas agrícolas para disminuir el esfuerzo que conlleva la producción de alimentos en el campo.

Visión:

Ser una empresa reconocida por sus soluciones tecnológicas para el beneficio de las y los productores agrícolas.

Nombre propuesto para la empresa:

Soluciones para agricultura de precisión

### **5.2.2 Determinación del nivel de madurez tecnológica**

Teniendo en cuenta que el objetivo del presente documento fue generar una estrategia para la maduración tecnológica, fue necesario identificar en qué nivel de maduración se encontraba el dispositivo tecnológico desarrollado, para ello se aplicó la herramienta Nivel de madurez tecnológica (NMT) también conocido como Technology Readiness Level (TRL), la cual consiste en un cuestionario el cual fue respondido por el desarrollador de la tecnológica, su servidor el Ingeniero Víctor Manuel Coria Mora bajo la supervisión del M.C. Omar Alejandro Cervantes Gloria en su función como director del proyecto (Dentro del anexo número uno puede ser encontrada la aplicación detallada de la herramienta TRL).

Los resultados obtenidos ubicaron a la tecnología desarrollada en el nivel TRL3, esto quiere que se encuentra en la etapa denominada “prueba de concepto”; de acuerdo a la definición proporcionada por el CONACyT (2020), esta etapa se puede describir como: “Las actividades que se llevan a cabo son fuertemente de investigación y desarrollo, que incluyen estudios analíticos y estudios a escala laboratorio para validar físicamente las predicciones de los elementos separados de la tecnología. Se incluyen pruebas de laboratorio para medir parámetros y comparación con predicciones analíticas de subsistemas críticos. El trabajo ha evolucionado de un artículo científico a trabajo experimental que verifica que el concepto funciona como esperado. Los componentes de la tecnología son validados, pero aún no hay una intención de integrar componentes a un sistema completo. Modelado y simulación pueden ser usados para complementar los experimentos físicos”.

La metodología para determinar el correcto nivel del TRL implica que se deben haber cumplido satisfactoriamente todos y cada uno de los elementos listados, sin embargo, es importante destacar que existen varios elementos clave correspondientes a los niveles TRL4 y TRL5, los cuales ya fueron cumplidos satisfactoriamente y sugieren que el desarrollo tecnológico se encuentra muy cerca de escalar la tecnología a un nivel superior. Actualmente se considera que los componentes tecnológicos básicos son integrados a manera de que la configuración del sistema serán muy similares a la aplicación final. Hasta ahora han realizado pruebas a escala en laboratorio, así como en un sistema operativo condicionado.

El nivel de madurez de la manufactura (MRL) es una herramienta diseñada por el Departamento de Defensa (DoD), como se puede observar en la tabla número 12, se divide en diez niveles.

**Tabla 12 Nivel de madurez de manufactura MRL**

<b>Nivel</b>	<b>Definición</b>	<b>Descripción</b>
1	Evaluación de factibilidad de fabricación	La investigación básica amplía los principios científicos que pueden tener implicaciones en la fabricación. La atención se centra en una evaluación de alto nivel de las oportunidades de fabricación.
2	Definición de conceptos para fabricación	Este nivel se caracteriza por describir la aplicación de nuevos conceptos de fabricación. La investigación aplicada traduce la investigación básica en soluciones para necesidades militares ampliamente definidas.
3	Desarrollo de conceptos de fabricación	Este nivel inicia la validación de los conceptos de fabricación a través de experimentos analíticos o de laboratorio. Se han desarrollado modelos de hardware experimentales en un entorno de laboratorio que puede tener una funcionalidad limitada.

<b>Nivel</b>	<b>Definición</b>	<b>Descripción</b>
4	Producción a escala de laboratorio	Este nivel indica que las tecnologías están listas para la fase de desarrollo de tecnología de adquisición. Se han completado las evaluaciones de productividad de los conceptos de diseño. Se han identificado los parámetros clave de rendimiento del diseño, así como las herramientas especiales, las instalaciones, el manejo de materiales y las habilidades requeridas.
5	Producción de componentes para prototipo en entorno relevante	Estrategia de manufactura refinada e integrada con el Plan de Gestión de Riesgos. La identificación de las tecnologías y componentes habilitadores/críticos está completa. Se han demostrado prototipos de materiales, herramientas y equipos de prueba, así como habilidades del personal en componentes en un entorno relevante para la producción, pero muchos procesos y procedimientos de fabricación aún están en desarrollo.
6	Producción de un sistema prototipo en entorno relevante	Las tecnologías deberían haber madurado al menos hasta TRL 6. La mayoría de los procesos de fabricación se han definido y caracterizado, pero todavía hay cambios significativos de ingeniería y/o diseño en el propio sistema.
7	Producción de un sistema prototipo en entorno similar al de producción	Las especificaciones de materiales han sido aprobadas y los materiales están disponibles para cumplir con el cronograma de construcción de la línea piloto planificada. Los procesos y procedimientos de fabricación se han demostrado en un entorno representativo de producción. Los estudios comerciales detallados de producibilidad se han completado y las mejoras de producibilidad y las evaluaciones de riesgo están en marcha. Las tecnologías deben estar en camino de lograr TRL 7.
8	Producción en planta piloto	El sistema, componente o artículo se ha producido previamente, está en producción o ha logrado con éxito una producción inicial de baja tasa. Las tecnologías deberían haber madurado a TRL 9. Todos los requisitos de ingeniería/diseño de sistemas deberían haberse cumplido de manera que haya cambios mínimos en el sistema.
9	Demostración de producción a baja escala	El sistema, componente o artículo se ha producido previamente, está en producción o ha logrado con éxito la producción inicial de baja tasa (LRIP). Todos los requisitos de ingeniería/diseño de sistemas deberían haberse cumplido de manera que haya cambios mínimos en el sistema.
10	Producción a escala comercial	Este nivel de fabricación normalmente se asocia con las fases de producción o mantenimiento del ciclo de vida de adquisición. Los cambios de ingeniería/diseño son pocos y generalmente se limitan a mejoras de calidad y costos. El sistema, los componentes o los artículos se encuentran en producción a plena velocidad y cumplen con todos los requisitos de ingeniería, rendimiento, calidad y confiabilidad. La capacidad del proceso de fabricación se encuentra en el nivel de calidad adecuado.

Fuente: Department of Defense, 2020

En la tabla número 13 se presenta un resumen de los resultados obtenidos, como se puede observar el desarrollo tecnológico cumple la mayoría de los requisitos necesarios para obtener un nivel MRL3. Dentro del apéndice número cuatro se presentan los criterios a evaluar mediante la herramienta MRL.

**Tabla 13 Aplicación de la evaluación MRL**

Tema	Subtema	¿Cumple con los requisitos para obtener un nivel...?	
		MRL3	MRL4
Tecnología y base industrial	Nivel de madurez de la tecnología	✓	X
	Base Industrial	✓	✓
	Desarrollo de la tecnología de manufactura	✓	✓
Diseño	Productibilidad	✓	✓
	Madurez de diseño	✓	✓
Costos y financiamiento	Conocimientos del costo de producción	✓	X
	Análisis de costos	✓	X
	Presupuesto para manufactura	X	X
Materiales	Madurez	✓	✓
	Disponibilidad	✓	X
	Administración de la cadena de suministros	✓	✓
	Manejo especial	X	X
Capacidades del proceso y control	Modelado y simulación	✓	✓
	Madurez del proceso de manufactura	✓	X
Calidad	Administración de la calidad	✓	X
	Calidad del producto	✓	X
	Administración de calidad de los proveedores	✓	X
	Mano de obra	✓	X
Instalaciones	Herramientas	✓	X
	Instalaciones	✓	X

Otra herramienta que tiene como propósito el evaluar el nivel de madurez tecnológica es el nivel de madurez para la comercialización (CRL), la cual evalúa varios indicadores que influyen en las condiciones comerciales y de mercado más allá de la madurez de la tecnología. Esto permite abordar las barreras clave para apoyar la comercialización de una tecnología. (Granted Consultancy, 2021). Como se observa en la tabla número 14, el CRL tiene una escala del 1 al 9 para identificar la preparación comercial de la tecnología.

**Tabla 14 Nivel de madurez para comercialización (CRL)**

<b>CRL</b>	<b>Descripción</b>
1	Los conocimientos sobre las aplicaciones, los usos y restricciones del mercado son limitados, incidentales o no se han obtenido.
2	Mínima familiaridad con aplicaciones potenciales, mercados, y tecnologías/productos competitivos existentes. Estudios de mercado resultado de fuentes primarias y secundarias. Pueden existir ideas de productos basadas la tecnología pero son especulativos o no han sido validados
3	Se ha desarrollado un mayor entendimiento sobre aplicaciones potenciales, casos de uso de la tecnología, requerimientos/restricciones de mercado, así como una familiaridad en general con las tecnologías y productos competitivos permitiendo una consideración inicial de la tecnología como un producto. Son creadas una o más hipótesis de producto las cuales pueden ser iterativamente refinadas basadas en un análisis adicional de los datos tecnológicos y de mercados.
4	A través del análisis de tecnología-producto-mercado y discusiones con clientes potenciales y usuarios, es identificada y refinada una hipótesis primaria. Un modelo básico de costo/desempeño es creado para soportar la propuesta de valor y brindar información inicial sobre cambios de diseño. Es llevado a cabo un análisis competitivo básico para ilustrar características únicas y ventajas de la tecnología. Se han identificado y mapeado en un análisis inicial de la cadena de valor los proveedores potenciales, socios y clientes. Es identificado cualquier requerimiento, certificación o regulación para el producto o el proceso.
5	Son alcanzados un profundo entendimiento de la aplicación así como de los mercados objetivos. Es creado un modelo comprensivo de costo/desempeño para validar la propuesta de valor y brindar un entendimiento detallado de los atributos del producto. Se han establecido relaciones con proveedores potenciales, socios y clientes, todos comprometidos en brindar información sobre los requerimientos del mercado y definición del producto. Se ha elaborado un estudio competitivo completo. Es construido un modelo financiero básico, con proyecciones iniciales de ventas a largo plazo, costos, ganancias, márgenes, etc.
6	Son definidas y documentadas las necesidades del mercado y clientes además de la forma en que estas se traducen en necesidades del producto. Se lleva a cabo una optimización del diseño del producto considerando requerimientos detallados del mercado y producto, son establecidas alianzas con los grupos de interés en la cadena de valor (proveedores, socios, clientes). El modelo financiero continua siendo refinado
7	El diseño del producto se ha completado . Existen acuerdos de suministro y los clientes están definidos. Todas las certificaciones o procesos regulatorios para el producto han sido adaptados. El modelo financiero está completo y las proyecciones para las etapas tempranas de producción han sido construidas y validadas.
8	Las calificaciones del producto están completas y los productos iniciales son fabricados y vendidos. La madurez en la comercialización continua para soportar mayores niveles de produccion y ventas.
9	El despliegue completo es alcanzado

Fuente: Department of Energy, 2012

### 5.2.3 Análisis del entorno

Un análisis del entorno es una herramienta mediante la cual es posible adquirir una perspectiva más amplia de una organización, así como del lugar que ocupa dentro de la comunidad,

El principal desafío al momento de llevar a cabo un análisis del entorno es que no es predictivo: captura el entorno al momento actual, las condiciones bajo las que opera al día de hoy, las percepciones y tendencias del presente,

Si bien, es posible formar algunas suposiciones adecuadas sobre la dirección hacia la que se dirigen las cosas, al término del análisis del entorno es importante continuar con una vigilancia constante del medio, vigilando a los competidores, la forma en cómo se percibe a la organización, los nuevos desafíos a los que se enfrenta y las tendencias más grandes que afectan. Se debe ser consciente que existen muchas posibilidades de que el plan estratégico deba ajustarse conforme estos factores evolucionen.

A continuación, se presentan las herramientas que fueron seleccionadas para realizar el análisis del entorno:

#### a) Análisis PESTEL

El uso del análisis PESTEL permite realizar una evaluación de la perspectiva, crecimiento y orientación de las operaciones de una empresa, se busca identificar aquellos elementos externos que puedan afectar tanto el presente como el futuro de la organización, ver figura 40.



Figura 40 Estructura del análisis PESTEL

Aplicación de la herramienta Matriz PESTEL al proyecto:

**Tabla 15 Matriz PESTEL**

<b>Político</b>			
<b>Aspecto</b>	<b>Análisis del impacto</b>	<b>Plazo</b>	<b>Impacto</b>
Apoyo a PYMES	Existen altas posibilidades de obtener un apoyo financiero al existir programas del gobierno para impulsar a pequeñas y medianas empresas, tales como “Crédito a la palabra”	Corto	Positivo
Apoyos a la agricultura	El gobierno en turno ha expresado una clara apuesta al desarrollo del sector agrícola a través de programas tales como “Bienestar” así como del programa del programa “Sembrando vida”, mediante los cuales existen apoyos dirigidos hacia los agricultores para que adquieran herramientas y equipo para mejorar la producción de sus campos de cultivo.	Mediano	Positivo
<b>Económico</b>			
<b>Aspecto</b>	<b>Análisis del impacto</b>	<b>Plazo</b>	<b>Impacto</b>
Cambio de divisas	Debido a las condiciones de salud actuales provocadas por la COVID-19, la demanda de petróleo ha disminuido, provocando (entre otras cosas) que el tipo de cambio del dólar frente al peso mexicano sea más alto, aumentando los costos para la compra de componentes electrónicos, sensores y equipos de importación.	Corto	Negativo
Disponibilidad de equipos electrónicos	Debido a las condiciones de salud actuales provocadas por la COVID-19, la producción de los equipos electrónicos que contienen transistores, disminuyó considerablemente, provocando una escasez mundial de componentes electrónicos.	Corto	Negativo
Inflación	De acuerdo con diversas fuentes, se ha observado de manera puntual, incrementos extraordinarios en los sectores de aceros, metalmecánico, plásticos, electrónicos y la industria química	Corto	Negativo
<b>Socioculturales</b>			
<b>Aspecto</b>	<b>Análisis del impacto</b>	<b>Plazo</b>	<b>Impacto</b>
Gran aceptación en el consumo de berries	En la actualidad existe una tendencia hacia el aumento en el consumo de frutos de tipo berries en países como Estados Unidos y Canadá, además de que continuamente se buscan nuevos mercados con alta demanda, como es el caso del mercado asiático	Mediano	Positivo
Tendencias de consumo de productos orgánicos	En la actualidad existe una tendencia en la población hacia el consumo de productos de origen orgánico libre de plaguicidas, provocando el aumento en la demanda de productos que se sean cultivados bajo este esquema	Mediano	Positivo
<b>Tecnológicos</b>			
<b>Aspecto</b>	<b>Análisis del impacto</b>	<b>Plazo</b>	<b>Impacto</b>
Aparición de nuevas tecnologías de telecomunicaciones	El desarrollo y posterior despliegue de las redes 5G permitirán las áreas geográficas apropiadas para operar dispositivos del tipo IoT, beneficiando los sistemas de procesamiento de información, especialmente aquellos sistemas basados en la nube.	Corto	Positivo

<b>Ecológicos</b>			
<b>Aspecto</b>	<b>Análisis del impacto</b>	<b>Plazo</b>	<b>Impacto</b>
Prohibición en el uso de agroquímicos	Actualmente el uso de agroquímicos está en proceso de prohibición debido a las diversas afectaciones que ha causado en la salud pública del país, así como afectaciones al medio ambiente, sin la oportunidad de utilizar este tipo de productos los productores deberán utilizar alternativas para mejorar la producción de sus cultivos	Mediano	Positivo
Calentamiento global	El calentamiento global ha provocado un cambio en el entorno ecológico del país, causando que en algunos casos que la temperatura aumente, al aumentar la temperatura propicia la aparición de ciertas especies de mosquitos, existiendo un mayor riesgo de infección dentro de los cultivos debido a plagas.	Largo	Positivo

<b>Legales</b>			
<b>Aspecto</b>	<b>Análisis del impacto</b>	<b>Plazo</b>	<b>Impacto</b>
Constitución de una empresa	En papel y en teoría, no es tan difícil crear un negocio en México, pues el proceso consiste en seis pasos, sin embargo, de acuerdo con varias investigaciones realizadas por TyN Magazine(2021), "El exceso de burocracia y de documentación a presentar hace que cada paso del proceso sea todo un reto". Llegando al punto en que la mayoría de las veces se requiere de múltiples citas para atención además de tiempos de espera que pueden alcanzar los tres meses para cada parte del proceso, así como riesgos de enfrentar corrupción de parte de servidores públicos.	Corto	Negativo

b) Análisis de las cinco fuerzas de Porter

El modelo de las cinco fuerzas de Porter del análisis competitivo, es un enfoque utilizado para desarrollar estrategias en sectores donde la intensidad de la competencia entre organizaciones es alta.

“Las cinco fuerzas de Porter ayudan a maximizar los recursos y superar a la competencia. Si no se cuenta con un plan perfectamente elaborado, no se puede sobrevivir en el mundo de los negocios de ninguna forma; lo que hace que el desarrollo de una estrategia competente no solamente sea un mecanismo de supervivencia” (Riquelme Leiva, 2015).

**Tabla 16 Aplicación de las 5 Fuerzas de Porter**

Fuerza por analizar	Descripción	Análisis	Nivel de amenaza identificado
Poder de negociación de los clientes	<p>Los principales clientes interesados en adquirir el sistema de supervisión de cultivos agrícolas, son aquellos productores de frutillas que deseen aumentar tanto la calidad como la cantidad de sus cosechas, debido a esto, el mercado objetivo es muy reducido, de acuerdo datos oficiales se han identificado 251 productores de frutillas en el estado de Michoacán.</p> <p>Este mercado tan bajo es considerado un mercado de nicho, pocos clientes, por lo que el poder de negociación que tienen los compradores es muy alto.</p>	<p>Al ser un mercado de nicho, los compradores tienen un gran poder de negociación buscan equipos de alta calidad y que produzcan resultados positivos</p>	Alta
Poder de negociación de los proveedores	<p>Dentro de este rubro se identificó que la empresa tiene una amenaza muy alta frente a sus proveedores, ya que los componentes electrónicos requeridos para el producto, son muy específicos, muy pocos proveedores la comercialización en México.</p> <p>Adicionalmente, dichas empresas que se encargan distribuir los insumos, equipos electrónicos, así como los de servicios de telecomunicaciones cuentan con una cartera de clientes muy grande, en donde compran los componentes por volúmenes muy altos.</p> <p>Si dichos proveedores deciden aumentar sus precios afectarían considerablemente las operaciones dentro de la empresa.</p>	<p>Los equipos electrónicos utilizados como materia prima son difíciles de encontrar en el mercado, en México muy pocos proveedores que los comercializan</p>	Alta
Amenaza de nuevos competidores	<p>La diferenciación de producto es una de las principales barreras de entrada al mercado, ya que actualmente la gran mayoría de las empresas con productos similares (estaciones de captura de datos) no cuentan con el software adicional encargado de realizar el procesamiento de la información, así como la generación de las alertas.</p> <p>Es importante destacar que todos los equipos que se encuentran actualmente disponibles en el mercado, han sido diseñados en otros países por lo que no cuentan con la información específica necesaria que requieren los huertos de producción mexicanos.</p> <p>Otra de las barreras con las que se deben de enfrentar los posibles competidores son los costos cambiantes, como se observa en el estudio de mercado, la mayoría de las empresas dedicadas a la comercialización de equipos tecnológicos para el campo, son empresas que utilizan equipos y tecnología desarrollados en el extranjero por lo que sus costos son muy sensibles debido a la depreciación de la moneda nacional, provocando que los costos de los equipos sean muy cambiantes.</p>	<p>Altas barreras para ingreso de nuevos competidores,</p> <p>Altos costos de desarrollo</p> <p>México no es un país generador de tecnología para agricultura de precisión</p>	Baja

Fuerza por analizar	Descripción	Análisis	Nivel de amenaza identificado
Amenaza de productos sustitutos	<p>Servicios de supervisión ofertados por técnicos especialistas: En la actualidad, los productores realizan la contratación de técnicos expertos en el área de la agricultura para el asesoramiento para el manejo de los cultivos. Los técnicos son capaces de identificar las posibles amenazas biológicas producidas por plagas y enfermedades, sin embargo, conllevan un alto costo por concepto de mano de obra.</p> <p>Uso de invernaderos y macro túneles: El uso de túneles o estructuras que permiten proteger los cultivos de las inclemencias climáticas, proveen una protección contra los elementos, requieren de constante reemplazo de las cubiertas plásticas. Proveen una protección limitada frente a las condiciones agrometeorológicas y, por sí solas, no son capaces de proporcionar una protección frente a las plagas y enfermedades.</p> <p>Uso de cultivos mediante uso de hidroponía: El cultivo hidropónico se refiere a una técnica de cultivo sin suelo, donde la tierra se sustituye con un medio inerte, tal como arcilla expandida, fibra de coco, lana de roca o zeolita. Estos cultivos incluyen una amplia gama de sistemas, en los que el suministro de agua y nutrientes, esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, se produce mediante la administración de una solución nutritiva. El uso de este tipo de cultivos prácticamente asegura el aumento del volumen de producción, así como la mejora en la calidad de la fruta, sin embargo, ello viene de la mano con un muy alto costo de operación.</p>	<p>Existen muchos métodos alternativos utilizados para la mejora de la producción agrícola sin embargo hasta ahora no han sido capaces de satisfacer la necesidad del cliente.</p> <p>Cada uno de los elementos identificados, son productos o métodos que actualmente se utilizan dentro de campo agrícola, cada uno cuenta con sus beneficios, sin embargo, ninguno se ellos se identifica como una amenaza directa para el proyecto, esto debido a que el sistema desarrollado ofrece una mayor cantidad de servicios y una mejor experiencia de usuario.</p>	Baja
Rivalidad entre los competidores	<p>Mediante una investigación de mercado se logró identificar algunas empresas que ofrecen productos y servicios relacionados con la agricultura de precisión, como son: SOLCHIP, Ceasens, Tevatronic, Davis y Libelium</p> <p>Sin embargo, realizando una consulta al catálogo de servicios ofrecidos se puede concluir que el producto desarrollado en la presente tesis (sistema para supervisión de cultivos agrícolas) proporciona un valor añadido además de mejorar la experiencia del usuario.</p> <p>Dentro del primer capítulo del presente trabajo se presentó una comparativa de los diferentes equipos y sistemas de agricultura de precisión identificados como posibles rivales.</p> <p>Existen una gran cantidad de empresas que ofrecen los servicios de instalación y operación de estaciones meteorológicas, sin embargo, de acuerdo con una entrevista realizada a diversos productores locales de frutillas “Con el paso de los años, las empresas productoras desaparecen dejando los equipos desatendidos e inutilizables”.</p>	<p>Existen productos con características similares</p> <p>El sector se encuentra muy fragmentado, (existen un gran número de empresas, pero ninguna de ellas tiene una participación significativa)</p>	Media

## 5.2.4 Objetivos a largo plazo

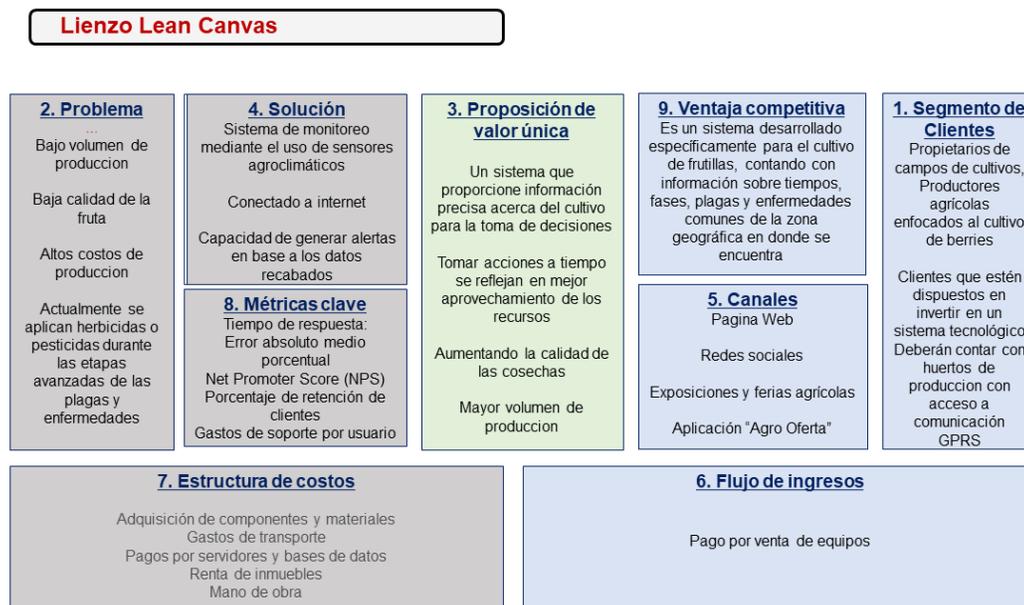
Objetivos de la empresa:

- Alcanzar la rentabilidad de la empresa.
- En dos años desarrollar una cartera de clientes provenientes de los tres estados prioritarios (Guanajuato, Michoacán, Querétaro).
- Establecer un módulo demostrativo itinerante de los equipos dentro del primer año.
- Implementar una estrategia de vigilancia tecnológica permanente enfocada a incorporar las herramientas tecnológicas más innovadoras

## 5.2.5 Plan de acción

El modelo de negocio es una herramienta que se realiza previa al desarrollo de un plan de negocio, permite definir con claridad: qué se va a ofrecer al mercado, cómo se va a hacer, a quién se va a vender, cómo se va a vender y de qué forma se van a generar ingresos. Es una herramienta de análisis que le ayuda a una organización conocer y comprender factores claves para la operación tales como: quién es, cómo lo hace, a qué coste, con qué medios y qué fuentes de ingresos va a tener.

La herramienta seleccionada para desarrollar el modelo de negocios fue el lienzo lean canvas mostrado en la figura 41, este lienzo se encuentra integrado de nueve módulos, en donde cada uno representan las áreas clave identificadas de una empresa.



**Figura 41 Propuesta del modelo de negocios sobre el lienzo lean canvas**

## 1. Segmento de clientes

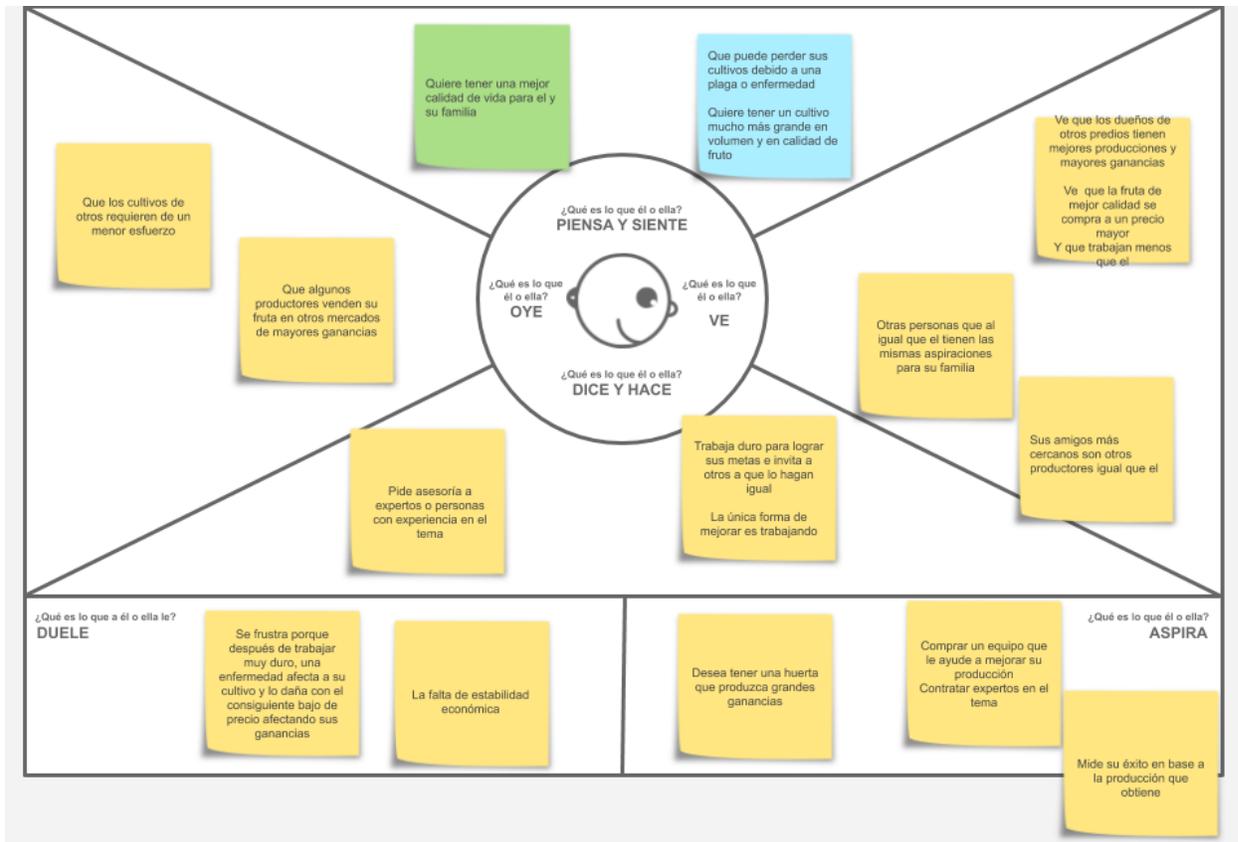
Antes de poder comenzar con el análisis del problema, el desarrollo y la producción de los equipos, primero se debe definir el tipo de clientes hacia los que está enfocado el desarrollo tecnológico, en el caso de la presente investigación se consideraron como clientes objetivo los propietarios de campos de cultivos y productores agrícolas enfocados al cultivo de berries, específicamente al cultivo de zarzamora. Adicionalmente se orientó el desarrollo hacia aquellos productores que estén dispuestos en invertir en un sistema tecnológico de última generación, el requisito indispensable es que los huertos de producción en donde se desee instalar el sistema desarrollado es que deben contar con acceso a redes de comunicación GPRS/GSM.

## 2. Problema

Una vez que definido el segmento de clientes se procedió a realizar un análisis del punto de vista (POV) (ver figura 42), así como un mapa de empatía (ver figura 43) para recopilar los principales problemas y las preocupaciones que afectan al mercado objetivo.



Figura 42 Análisis del POV



**Figura 43 Mapa de empatía**

Los principales problemas que fueron identificados mediante la aplicación de las herramientas POV y Mapa de empatía:

- Bajo volumen de producción en los cultivos agrícolas
- Baja calidad de la fruta producida
- Altos costos de producción
- Bajo aprovechamiento de los recursos
- Falta de eficiencia durante la aplicación de herbicidas o pesticidas debido a la aplicación de productos en las etapas avanzadas de las plagas y enfermedades.

### 3. Proposición de valor única

La propuesta de valor única y que se considera como diferenciadora en un segmento que cuenta con una amplia oferta de productos con características similares es que el sistema para supervisión cultivos agrícolas es capaz de generar alertas proporcionando información precisa acerca del cultivo para la toma de decisiones, se

considera que el tomar acciones a tiempo se reflejara en un mejor aprovechamiento de los recursos e insumos, aumentando la calidad de las cosechas y mejorando el volumen de producción.

El equipo se encuentra compuesto por los siguientes componentes:

- Una unidad de recolección de información y envío de información
- Un módulo de comunicaciones GPRS
- Un juego de sensores básicos (humedad relativa, temperatura, velocidad de viento, dirección de viento, radiación solar)
- Un paquete de baterías
- Una base metálica para fijación de los equipos
- Una tarjeta SIM

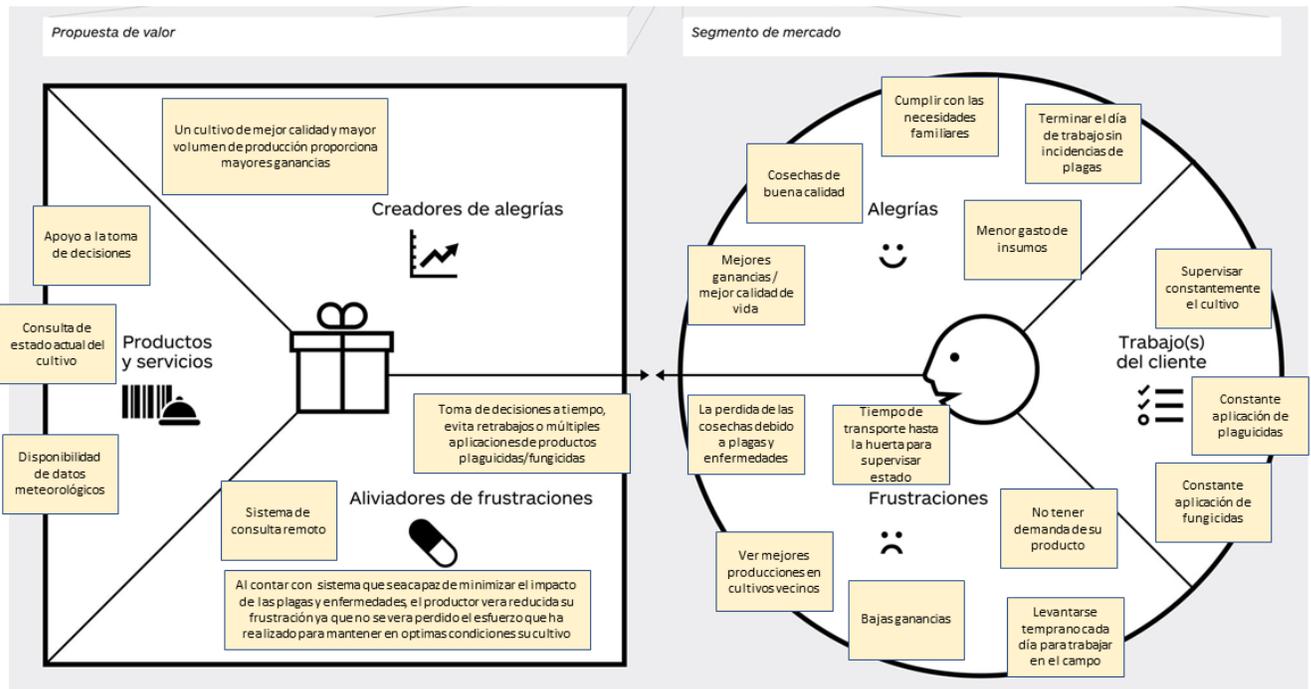


Figura 44 Herramienta lienzo de la propuesta de valor

#### 4. Solución

La solución propuesta es el desarrollo de un sistema para supervisión y monitoreo de cultivos agrícolas con tecnología 4.0 e IoT para la adquisición y posterior procesamiento de datos agrometeorológicos.

Un sistema capaz de proporcionar información de relevancia para el manejo estratégico de las enfermedades o plagas, lo cual se verá reflejado en un mejor control

sobre las variables que normalmente afectan a los cultivos agrícolas. Los equipos deben hacer uso de conectividad GPRS/GSM para almacenar datos en la nube además de contar con la capacidad para generar alertas en base a los datos recabados.

El sistema consiste en una estación de recolección de información agroclimática, al adquirir este equipo los clientes tendrán acceso a una base de datos que podrá ser consultada desde cualquier dispositivo con acceso a internet debido a que es un servicio almacenado dentro de la nube, en esta base de datos es posible acceder a la información histórica registrada por la estación meteorológica.

Adicional al sistema, también se contará con un sistema de alertas que notifique a los técnicos encargados del cultivo y a quien sea pertinente (Ej. Propietario del predio, técnicos empleados en las juntas de sanidad vegetal, terceros especialistas, etc.) sobre las posibles consecuencias de los eventos climáticos del momento para la asistencia en la toma de decisiones de acciones preventivas o correctivas que permitan llevar a cabo un ciclo de cultivo exitoso.

## 5. Canales

Como los principales canales de difusión y comercialización del desarrollo tecnológico realizado, se propone la utilización de:

### a) Página Web y Redes sociales

Cuando una empresa cuenta con una página web eleva su prestigio, a la vez que permite que los clientes aumenten su nivel de confianza en el producto o servicio que ofrece. Un sitio web ayuda a incrementar las ventas, la productividad y el valor en el mercado de cualquier PYME (Banco Popular Dominicano, 2015).

Hoy en día un gran porcentaje de la población mundial cuenta con acceso a Internet, por lo que cualquier persona sin importar la nacionalidad tiene la oportunidad de acceder a la página web y enterarse de tus productos o servicios, noticias y promociones.

Si una empresa no cuenta con un sitio web desarrollado y desplegado correctamente, no aparecerá indexada en las bases de datos de los buscadores online, y será difícil de encontrar por los usuarios. Al comparar contra otros

medios publicitarios, el mantenimiento y operación de una página web es relativamente económico.

b) Exposiciones y ferias agrícolas

En los últimos años se ha visto un incremento de ferias de sectores emergentes y congresos especializados con área expositiva en México y en otros países,

Estas ferias evolucionan edición tras edición para adaptarse a las necesidades de los sectores involucrados, y sus organizadores se esfuerzan en incrementar su interés mediante actividades complementarias como conferencias, seminarios, mesas redondas, debates, demostraciones, concursos, exposiciones, presentación de tendencias y otras similares (PUCHALT, 2019).

Las principales ventajas o características que se pueden apuntar sobre las ferias comerciales son:

- Facilitan los procesos de venta.
- Crean un ambiente donde consumidores y productores pueden contactarse directamente.
- Reúnen en unos pocos días a gran parte de un nicho de mercado.
- Permiten la retroalimentación inmediata entre cliente/proveedor.
- Se presentan las principales tendencias actuales, generando un gran flujo de información.
- Permite que los visitantes tengan acceso inmediato a los agentes y distribuidores de productos, maquinaria y de nuevas tecnologías.
- Es posible conocer y hablar con diferentes proveedores, además de comprobar las características de los productos ofertados antes de la compra, permitiendo una comparación inmediata de precios y condiciones.

Algunas de las posibles ferias y exposiciones agrícolas que fueron identificadas como adecuadas para la presentación del producto tecnológico desarrollado son:

- Expo Agroalimentaria Guanajuato
- Expo Agrícola Jalisco

- Expo Agroberries 2021
- Expo Fresas Irapuato 2021
- Expo Feria de la Fresa Jacona
- GreenTech Americas 2022
- FIGAP Guadalajara 2021
- Pro Agro Innovación 2022

c) Aplicación “Agro Oferta”

Agro Oferta es una plataforma digital gratuita desarrollada por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, de consulta interactiva para computadoras y dispositivos móviles, en la que productores y compradores nacionales e internacionales pueden localizar de forma sencilla y segura productos agrícolas, pecuarios y pesqueros y acceder a sus características, disponibilidad y precios de primera mano sin intermediarios. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2021).

Las principales ventajas que ofrece es que es un ambiente:

- Sin intermediarios.
- Sin mínimos o máximos de compra o venta.
- Ofrece un servicio gratuito, sin comisión y sin límite de transacciones.
- Permite impulsar el comercio regional e internacional.
- Facilita la comparación de productos y precios.



**Figura 45. Pantalla principal de la Aplicación “Agro oferta”**

## 6. Flujo de ingresos

La principal fuente de ingresos se considera que será la venta de equipos y estaciones meteorológicas, algunas fuentes secundarias de ingresos serán la reparación de los equipos dañados y la venta de accesorios.

Se proyecta que la venta de los equipos se realizara principalmente a productores de frutillas/berries en los estados de Guanajuato y de Michoacán, ya que en estos estados se cultivan la mayoría de las frutas de berries generadas en el país.

## 7. Estructura de costos

La estructura de costos completa, los costos de materiales, así como del proceso productivo se desarrollan a fondo más adelante en el trabajo, sin embargo, los principales factores que fueron considerados son:

- Adquisición de componentes y materiales
- Gastos de transporte
- Pagos por servidores y bases de datos
- Renta de inmuebles
- Pago por mano de obra

Adicionalmente se definió que las actividades clave para la operación son:

- El desarrollo de nuevos modelos y equipos para las estaciones de captura de datos meteorológicos
- La construcción, armado y programación de los equipos de captura de datos
- La operación del sistema de alertas
- Venta de equipos

## 8. Métricas clave

- Tiempo de respuesta:

Se define como el porcentaje de casos en los que el tiempo total de un proceso (incluyendo esperas) cumple un determinado valor objetivo de tiempo, es útil para medir la fluidez de un determinado proceso de principio a fin (Beltran, 2013).

- Error absoluto medio porcentual

Es la razón expresada como porcentaje, entre la suma de los errores absolutos (real / previsto) y el total de las unidades reales producidas, permite medir la desviación en la previsión de la demanda versus lo real (Beltran, 2013).

- Net Promoter Score (NPS)

Es útil para medir la satisfacción del cliente con un producto o servicio, se define como el valor neto que resulta de calcular del porcentaje de clientes que recomendarían activamente el producto, menos el porcentaje que hablarían mal o lo desaconsejarían (Corral, 2017).

- Porcentaje de retención de clientes

La tasa de retención de clientes es el índice que mide la fidelidad de los clientes hacia un negocio durante un plazo de tiempo concreto, expresado en un porcentaje.

- Gastos de soporte por usuario

Índice útil para conocer si los clientes se pueden poner en contacto con el equipo de soporte técnico con demasiada frecuencia por causas tales como la falta de manuales de operación claros.

## 9. Ventaja competitiva

Es un sistema desarrollado específicamente para el cultivo de frutillas, contando con información sobre tiempos, fases, plagas y enfermedades comunes de la zona geográfica en donde se encuentra

### **5.3 Determinación de la localización óptima del proyecto: macro localización**

La localización óptima de un proyecto es la que contribuye en mayor medida a que se logre la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital u obtener el costo unitario mínimo (Baca Urbina, 2016).

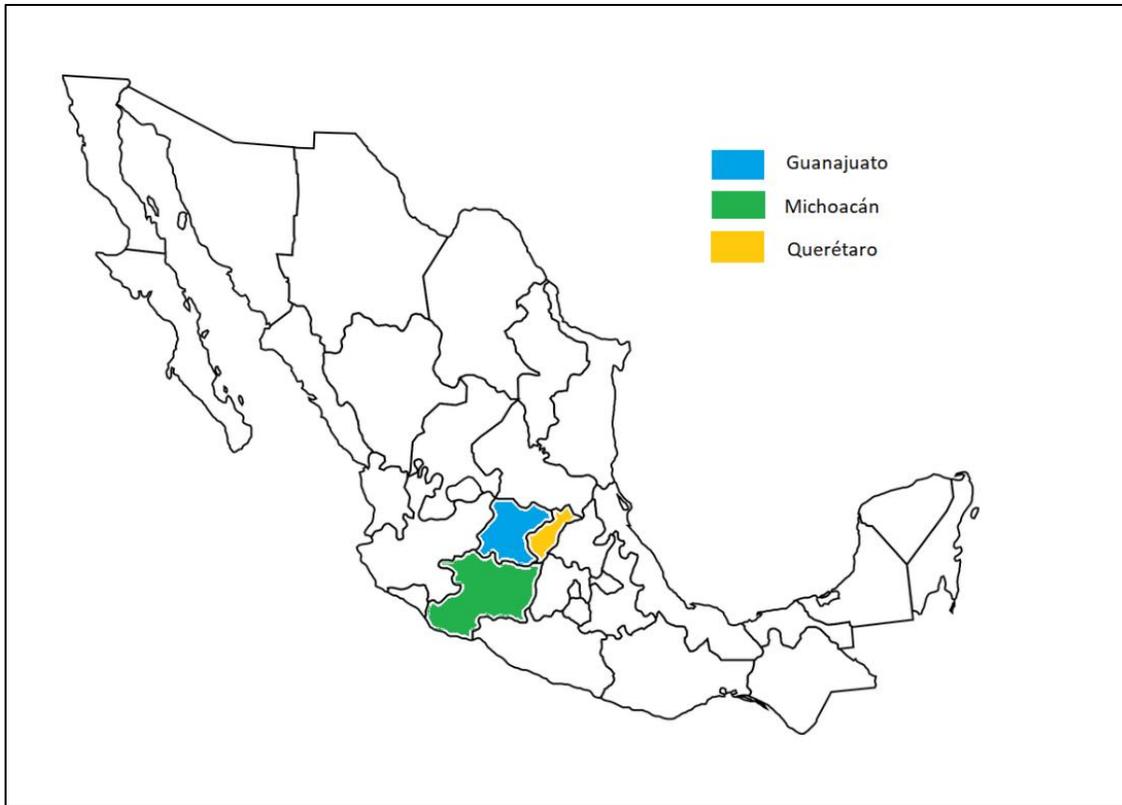
De acuerdo con diversos autores, algunos de los elementos principales que se deben de considerar antes de seleccionar la ubicación del proyecto son acceso a servicios como agua potable, energía eléctrica, eliminación de desechos, servicios de telecomunicación, combustible, carreteras, vías y servicios ferroviarios, líneas de transporte, servicios para la

población que requieran los trabajadores, escuelas, iglesias, centros de diversión, centros comerciales, servicio médico, mercado de consumo, fuentes de materia prima, etc.

Después de un análisis, se consideró que los aspectos más relevantes para llevar a cabo la determinación de la localización óptima del proyecto son: disponibilidad de materiales, componente y mano de obra, además de que se debe considerar como un factor el hecho de que la planta de producción sea establecida en un estado que sea productor de frutillas o que tenga facilidad de acceso a un estado de esta índole, esto debido a que se planea que a futuro no solamente sea una planta de producción si no que, eventualmente pueda llegar a contener un área para desarrollo de nuevas tecnologías para el campo agrícola. Bajo esa premisa se identificaron tres posibles entidades federativas: Michoacán, Querétaro y Guanajuato (ver figura 46). Los factores claves y relevantes que fueron considerados son:

- Materia prima disponible
- Mano de obra disponible
- Costo de los insumos
- Costo de la vida
- Cercanía con el mercado
- Condiciones de seguridad

A continuación, se describen las principales características socioeconómicas de cada uno de los estados considerados, estos datos servirán para aplicar el método de ponderación, el cual, de acuerdo con (Baca Urbina, 2016), consiste en asignar valores cuantitativos a una serie de factores que se consideran de relevancia para la localización. Esto conduce a una comparación cuantitativa de diferentes sitios. El método permite ponderar factores de preferencia para tomar una decisión.



**Figura 46. Mapa de localización de entidades federativas por evaluar**

#### Datos generales del estado de Guanajuato

- Superficie:  $30,768\text{km}^2$
- Ciudades principales: León, Celaya, Salamanca
- Promedio de escolaridad: 4.9 años
- Principales centros educativos: UAG, TecNM
- Numero de parque industriales: 9
- Escala dentro del semáforo delictivo nacional: 4-5
- INPC/INPP León, Gto. 98.8
- Costo de uso de vivienda 105.79

#### Datos generales del estado de Michoacán

- Superficie:  $58199\text{ km}^2$
- Ciudades principales: Morelia, Uruapan y Zamora
- Promedio de escolaridad: 5.1 años
- Principales centros educativos: UMSNH, TecNM
- Numero de parque industriales: 11

- Escala dentro del semáforo delictivo nacional: 4-5
- INPC/INPP Morelia: 101.17
- Costo de uso de vivienda 101.17

#### Datos generales del estado de Querétaro

- Superficie:  $363km^2$
- Ciudades principales: Santiago de Querétaro, San Juan del Rio
- Promedio de escolaridad: 9.5 años
- Principales centros educativos: UAQ, TecNM
- Numero de parque industriales: 21
- Escala dentro del semáforo delictivo nacional: 2
- INPC/INPP: 105.68
- Costo de uso de vivienda: 105.68

Una vez que fueron realizadas las ponderaciones correspondientes, se puede observar que, de acuerdo con el análisis, la entidad federativa más adecuada para establecer la planta de producción se encuentra en el estado de Querétaro, es posible observar que esto se debe principalmente a las altas calificaciones obtenidas dentro del factor de “condiciones de seguridad”. Posteriormente se obtuvo como resultado que el segundo estado más adecuado para el establecimiento es Michoacán, obteniendo una alta calificación gracias a su cercanía con el mercado objetivo, este es un factor muy importante ya que permitiría reducir costos de traslados y envíos.

**Tabla 17 Macro localización**

Factor Relevante	Entidad Federativa						
	Peso asignado	Querétaro		Guanajuato		Michoacán	
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Materia prima disponible	0.15	8	1.2	6	0.9	5	0.75
Mano de obra disponible	0.2	8	1.6	6	1.2	8	1.6
Costo de los insumos	0.15	8	1.2	8	1.2	8	1.2
Costo de la vida	0.1	5	0.5	9	0.9	9	0.9
Cercanía con el mercado	0.15	6	0.9	10	1.5	10	1.5
Condición de seguridad	0.25	9	2.25	6	1.5	6	1.5
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>7.65</b>		<b>7.2</b>		<b>7.45</b>

#### 5.4 Disponibilidad y costo de suministros e insumos

Continuando con el análisis realizado dentro del lienzo lean canvas (fig.41), se integró la tabla número 18, en donde se listan las maquinarias, así como sus especificaciones y demás equipo identificado como indispensable para la producción de los equipos y sus componentes del sistema de supervisión para cultivos agrícolas.

**Tabla 18. Equipo Clave**

Nombre del Equipo	Capacidad
Maquina CNC (impresión de PCB)	Mínimo 300W, área de trabajo mínima de 20x20cm, Velocidad del husillo de mínimo 8000 RPM
Computadora portátil Laptop	16gb RAM, procesador i5, conectividad Wi-Fi
Estación de soldadura	Estación con temperatura base de 200°C regulable $\pm 50^{\circ}\text{C}$ potencia mínima 75W
Fuentes reguladas	Voltaje de salida de 12/24 volts, Corriente de salida mínima de 5A

Posteriormente se presenta la tabla 19 la cual muestra una lista de todas las herramientas, consumibles y mobiliario requerido para la puesta en operación del proyecto.

**Tabla 19. Requerimiento de maquinaria, equipo y consumibles**

CONCEPTO	U.M.	Cantidad	P.U. (\$)	CTO TOTAL (\$)	Proveedor
Mesa de trabajo 48 x 30"	Pieza	2	6380	12760	Uline.mx
Bancos de taller con respaldo de madera prensada	Pieza	4	1056	4224	Uline.mx
Lámpara para mesa de trabajo de brazo articulado	Pieza	4	1200	4800	Uline.mx
Sillas H-3642	Pieza	6	1000	6000	Uline.mx
Escritorio metálico	Pieza	2	1580	3160	Uline.mx
Unidad de Estantería de acero 4 repisas - 36 x 18 x 54"	Pieza	4	1000	4000	Uline.mx
Organizador con Repisas para Gavetas - 36 x 12 x 75" con Gavetas Azules de 4 x 12 x 4"	Pieza	2	1500	3000	Uline.mx
Grabador CNC 3018 MAX	Pieza	2	8417	16834	pcbmicrocircuito
Impresora Epson I120	Pieza	1	3300	3300	Cyberpuerta.mx
Laptop Hp-g4	Pieza	2	9500	19000	Cyberpuerta.mx
Cable USB A-USB B	Pieza	2	80	160	<a href="#">hetpro-store</a>
Multímetro	Pieza	2	469	938	<a href="#">hetpro-store</a>
Fuente de Voltaje regulada	Pieza	2	1699	3398	<a href="#">hetpro-store</a>
Pinzas varias (corte, eléctricas, de punta)	Pieza	6	120	720	<a href="#">hetpro-store</a>
Juego de desarmadores	Pieza	5	300	1500	<a href="#">hetpro-store</a>
Protoboard	Pieza	4	100	400	<a href="#">hetpro-store</a>
Generador de funciones	Pieza	2	1600	3200	<a href="#">hetpro-store</a>
Osciloscopio	Pieza	2	4000	8000	<a href="#">hetpro-store</a>
Extractor de soldadura	Pieza	2	120	240	<a href="#">hetpro-store</a>
Lupa	Pieza	2	100	200	<a href="#">hetpro-store</a>
Baku Estacion para Soldar con Pistola De Aire Cautin 200W	Pieza	2	500	1000	<a href="#">hetpro-store</a>
Eliminador multivoltaje	Pieza	4	250	1000	<a href="#">hetpro-store</a>
Taladro Makita 650W	Pieza	1	800	800	amazon.com.mx
Dremel 300W	Pieza	2	800	1600	amazon.com.mx
Monitor Acer Essential V206HQL Bb LED 19.5", HD	Pieza	2	1500	3000	Cyberpuerta.mx
Pasta para soldar	Pieza	5	30	150	hetpro-store
Lija de agua	Pieza	50	5	250	hetpro-store

CONCEPTO	U.M.	Cantidad	P.U. (\$)	CTO TOTAL (\$)	Proveedor
Cables dupont	Pieza	20	30	600	hetpro-store
Cables de conexión con plug tipo banana	Pieza	20	30	600	hetpro-store
Cables de conexión tipo caimán	Pieza	20	30	600	hetpro-store
Disco de corte	Pieza	4	200	800	hetpro-store
Juego de brocas varias	Pieza	4	200	800	hetpro-store
				0	
Paquete de marcadores permanentes	Pieza	1	160	160	officedepot.com
Paquete de hojas blancas	Pieza	1	70	70	officedepot.com
Paquete de lápices	Pieza	1	50	50	officedepot.com
Paquete de lapiceros	Pieza	1	50	50	officedepot.com
Paquete de cinta adhesiva	Pieza	1	120	120	officedepot.com
Paquete de folders	Pieza	1	150	150	officedepot.com
Toallas de microfibras	Pieza	20	40	800	officedepot.com
<b>Total</b>				<b>\$108,434.00</b>	

En la tabla 20 se muestran la lista de componentes electrónicos, insumos y consumibles necesarios para llevar a cabo la construcción de una estación de captura de datos agrometeorológicos, presentando además el costo proyectado para su fabricación.

**Tabla 20. Costo de producción de una estación meteorológica**

Concepto	Unidad de Medida	Cantidad (\$)	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
Sensor Pro10 Wind Speed	Pieza	1	3500	3500
Sensor Pro10 Wind Direction	Pieza	1	3500	3500
Sensor TR1 Air Temperature	Pieza	1	3500	3500
Sensor TR1 Relative Humidity Sensor	Pieza	1	3500	3500
Sensor TR1 Solar exposure	Pieza	1	4000	4000
Sensor WMO	Pieza	1	3000	3000
Base metálica	Pieza	1	500	500
Paquete de baterías 9V	Pieza	1	1500	1500

<b>Concepto</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad (\$)</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Adaptador de corriente	Pieza	1	500	500
Terminales para circuito impreso	Pieza	15	1	15
Resistencias	Pieza	10	1	10
LED	Pieza	5	1.5	7.5
Soldadura	Gramos	50	1.6	80
Placa fenólica 10 x 15 cm	Pieza	1	40	40
Modulo SIM900	Pieza	1	200	200
Microcontrolador ATMEGA328	Pieza	1	130	130
Costo de producción total				\$ 23,982.5
Piezas				1
Costo de producción/pieza				\$23,982.5
Precio de venta				\$35,000.00
Utilidad marginal				\$11,017.5

La tabla 21 muestra el costo estimado por concepto de los servicios necesarios para la operación del proyecto.

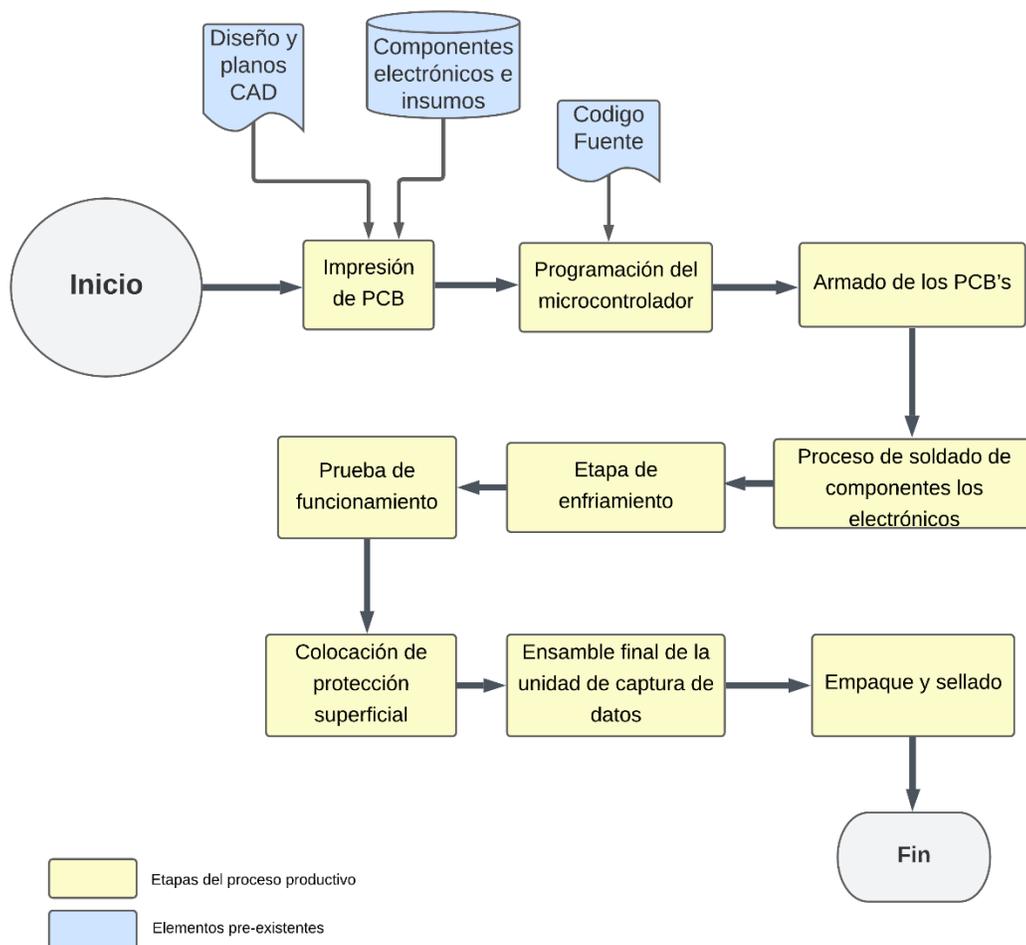
**Tabla 21 Presupuesto estimado de costo de servicios**

<b>Servicio</b>	<b>Tipo de facturación</b>	<b>Costo aproximado (Pesos mexicanos)</b>
Energía eléctrica	Bimestral	3500
Telefonía	Mensual	400
Acceso a internet	Mensual	600
Agua Potable	Mensual	3000

## 5.5 Identificación del proceso productivo

El proceso principal corresponde al proceso de producción de las estaciones de captura de información meteorológica, este proceso es llevado a cabo por el área correspondiente a producción y sigue las nueve etapas que se presentan en la figura 47.

Antes de comenzar con la cadena del proceso productivo se considera que actualmente ya se cuentan con los planes de diseño CAD, los diseños PCB, los diagramas de interconexión de circuitería electrónica, así como el código fuente necesario para llevar a cabo la programación de los equipos de recolección de información.



**Figura 47 Etapas del proceso productivo**

El proceso productivo se compone de nueve actividades las cuales son llevadas a cabo a lo largo de un proceso estimado de quince horas de trabajo como se puede observar en la tabla 22.

**Tabla 22 Producción de las estaciones**

Actividad	Tiempo (horas)	¿Depende del proceso anterior?
Impresión de PCB	2	-
Programación del microcontrolador	1	Si
Armado de los PCB's	1	Si
Soldadura de componentes electrónicos	3	Si
Etapas de enfriamiento	1	Si
Prueba de funcionamiento	2	Si
Colocación de protección superficial	1	Si
Ensamble final de la unidad de captura de datos	2	Si
Empaque y Sellado	2	Si
Total	15	

A continuación, se presenta la descripción de cada una de las etapas del proceso productivo:

#### 1. Impresión de PCB

A partir de los diseños existentes, se realiza la impresión del PCB (circuito impreso) en una hoja de placa fenológica mediante el uso de la maquinaria CNC, esta maquinaria realiza los cortes necesarios para generar las pistas y posteriormente se utiliza un taladro para perforar los puntos de conexión necesarios para los componentes electrónicos, posteriormente se verifica el resultado final asegurando que no existan imperfecciones en las pistas en la placa impresa.

#### 2. Programación del microcontrolador

A partir de los códigos fuentes existentes, se realiza la programación del microcontrolador de la unidad de recopilación de la información, para esto se utiliza una computadora con el software de Arduino IDE precargado, dentro del cual se configuran los parámetros que sean necesarios (tipo y versión de microcontrolador ATmega utilizado, velocidad de comunicación, claves API del sistema de recepción de información en la nube)

#### 3. Armado de los PCB's

Una vez que se cuenta con la placa fenológica convertida en un PCB, se procede a organizar y marcar las posiciones de los distintos componentes electrónicos (LEDs, resistencias, capacitores, terminales de conexión, etc.) que debe de llevar el circuito impreso, además de la colocación del microcontrolador previamente programado,

adicionalmente se verifica que cada uno de los componentes por utilizar se encuentren en buen estado (Sin oxido, sin imperfecciones o defectos de fábrica, etc.)

4. Proceso de soldado de componentes los electrónicos

Una vez que se verifico que cada uno de los componentes se encuentran en óptimas condiciones de funcionamiento, y que la placa fenólica no cuenta con imperfecciones que puedan causar un corto circuito, se procede a realizar la soldadura de forma permanente de cada uno de los componentes utilizando los cautines regulables en temperatura y los tubos de soldadura de estaño 60/40.

5. Etapa de enfriamiento

Los circuitos electrónicos realizados en PCB se deben dejar templar a temperatura ambiente por 60 min antes de continuar con el resto de las etapas de producción con el objetivo de permitir que las soldaduras se curen satisfactoriamente para evitar posibles fracturas causadas por el choque térmico.

6. Prueba de funcionamiento

Cuando ya se cuenta con el circuito PCB armado con cada uno de sus componentes, se procede a realizar un encendido del circuito, para esto se utilizan las fuentes regulables, verificando que cada uno de los indicadores LED, así como los diferentes módulos se encuentren en plena operación realizando la lectura de los múltiples puertos mediante el uso del osciloscopio, además se verifica que el consumo de energía eléctrica se encuentre dentro del rango especificado.

7. Colocación de protección superficial

En esta etapa se realiza la aplicación de la capa de protección superficial al PCB se utiliza un recubrimiento dieléctrico y anticorrosivo en forma de spray, posteriormente se debe colocar en un banco para llevar a cabo el secado por un periodo de 30 minutos, la aplicación de este recubrimiento tiene el objetivo de proteger a los componentes electrónicos contra el daño causado debido a la formación de oxido provocado por la humedad ambiental, así como a posibles caídas de agua que pueda sufrir el dispositivo una vez que se encuentre en operación en campo.

8. Ensamble final de la unidad de captura de datos

Una vez que el circuito PCB ha terminado su etapa de curado, se procede a la colocación del circuito mismo dentro un gabinete metálico con sellos a prueba de agua,

se realiza la fijación y se colocan las terminales para los sensores externos, los conectores y bases necesarias para las baterías, así como otros módulos de montaje necesarios, mediante el uso de la tornillería correspondiente.

#### 9. Empaque y sellado

Se realiza el empaque y sellado de la estación de captura de datos meteorológicos, se colocan los plásticos protectores y se procede a su almacenamiento

### 5.6 Determinación organizacional humana y jurídica

La estructura organizacional de la empresa u organización, es aquella que permite la asignación expresa de responsabilidades de las diferentes funciones y procesos a diferentes personas, departamentos o filiales (Paolini, s.f.).

Considerando el tipo de organización formal que este proyecto pretende y entendiendo la naturaleza de las actividades que dentro de él se realizarán, se tiene contemplada la organización jerárquica vertical la cual consiste en una estructura organizativa donde cada entidad en la organización, excepto uno, está subordinada a una entidad única, en este caso el director de la empresa

Los miembros de la estructura jerárquica de la organización (figura 48), principalmente se comunican con su superior inmediato y con sus subordinados inmediatos. La estructuración de este modo es útil en parte porque puede reducir la sobrecarga de comunicación, limitando el flujo de información.

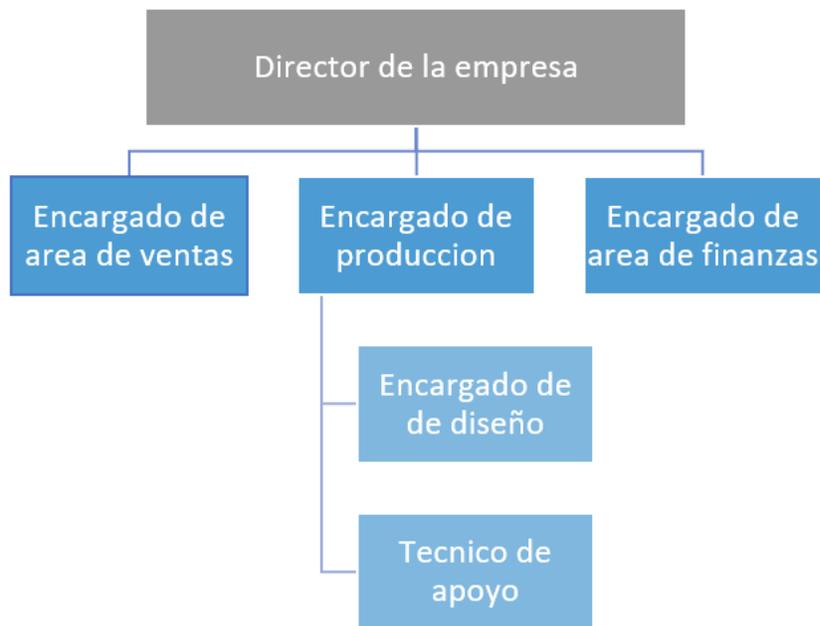


Figura 48 Organigrama propuesto

Dentro del anexo número dos se integran las descripciones de puestos detalladas, además de las descripciones de los perfiles requeridos.

Dentro de la tabla número 23, se proyectan los siguientes estimados para el pago de los recursos humanos, considerados con base a la organización jerárquica presentada en la figura anterior, para el cálculo de los sueldos correspondientes a los puestos que requieren carreras profesionales se tomaron como base los datos de sueldos promedios publicados por el Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C. (IMCO). En el caso de los puestos que debido a sus características requieren únicamente una carrera técnica se tomaron datos de sitios web privados de análisis de sueldos y salarios.

**Tabla 23 Presupuesto Estimado de Mano de Obra**

No.	Concepto	Salario/semana	Salario/Mes	Salario/Año
1	Encargado de producción	\$ 3,444.50	\$ 13,778.00	\$165,336.00
1	Encargado de diseño	\$ 3,444.50	\$ 13,778.00	\$165,336.00
1	Técnico de apoyo	\$ 1,975.00	\$ 7,900.00	\$ 94,800.00
1	Encargado de área de ventas	\$ 2,760.25	\$ 11,041.00	\$132,492.00
1	Encargado área de finanzas	\$ 1,933.50	\$ 7,734.00	\$ 92,808.00
<b>Total Mano de Obra</b>		<b>\$ 13,557.75</b>	<b>\$ 54,231.00</b>	<b>\$650,772.00</b>

Se obtiene como resultado un presupuesto estimado anual de \$650,772.00 pesos medianos para el pago del concepto de mano de obra de cinco integrantes de la empresa, dicha cantidad deberá ser considerada junto a los costos proyectados de la compra de material, equipo, mobiliario, pago de servicios, así como el inmueble requerido presentados en las secciones anteriores.

En cuanto a la organización jurídica de la empresa, al leer a diversos autores, queda claro que, una parte indispensable antes de iniciar un plan de negocio es analizar los tipos de formas jurídicas sobre las cuales se puede constituir una empresa. Pues de acuerdo al tipo de sociedad, se tienen ciertos derechos y deberes que es importante conocer de antemano. Además, de que debe de realizarse la selección de acuerdo a la actividad empresarial a la que se encuentra orientada.

La estructura jurídica seleccionada para la creación de la empresa “Soluciones para agricultura de precisión” de tipo PYME es: “Empresa de base tecnológica establecida como una sociedad de responsabilidad limitada” justificado por lo siguiente:

Como primer paso se definió que el tipo de empresa a crear es una empresa de base tecnológica (EBT), las cuales de acuerdo con Storey (1998), se definen como: “empresas de no más de 25 años de edad que se basan en la explotación de una innovación o invención que implique un riesgo tecnológico sustancial” (p 933-946). Esta definición no solamente hace alusión a la tecnología, sino que esta tecnología debe ser reciente; y, por otro lado, supone que la explotación de la oportunidad de negocio conlleva un riesgo (Onetti et al., 2012).

Las Empresas de Base Tecnológica (EBT) son aquellas que tienen como fin explotar nuevos productos y/o servicios a partir de resultados de investigación científica y tecnológica. La creación de EBT es una importante vía para transferir tecnología y llevar los resultados de investigación del laboratorio a la sociedad, así como para crear empleos calificados y de calidad (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, 2020).

La sociedad de responsabilidad limitada (S. de R. L.), es una persona moral con personalidad jurídica propia, pero su principal distintivo es que los socios poseen una responsabilidad limitada por el monto de su aportación. La S. de R. L. es una de las siete sociedades reguladas por la Ley General de Sociedades Mercantiles (LGSM).

A diferencia de las Sociedad Anónima de Capital Variable (S.A. de C.V.), sociedad de responsabilidad limitada, cuenta con rasgos que la hacen más flexible, fácil de manejar e idónea para las PYMES:

## CONCLUSIONES

La presente investigación evaluó la factibilidad y viabilidad del desarrollo de un sistema para supervisión de cultivos agrícolas desde las perspectivas técnica y comercial.

Conforme al primer grupo de objetivos específicos referente al desarrollo técnico del sistema, este proyecto inició con un análisis documental y del entorno, identificando las características necesarias para poder ser considerado un sistema de “agricultura de precisión”, esto con el propósito de conocer si es factible desarrollar un equipo electrónico que cumpla con dichas especificaciones. La investigación preliminar concluyó que, contando con un equipo de trabajo debidamente capacitado en las áreas técnicas correspondientes, efectivamente, era posible realizar el desarrollo tecnológico por lo que se procedió a su desarrollo.

El desarrollo del proyecto parte con la selección de un grupo de variables meteorológicas de relevancia y, posteriormente, su correspondiente grupo de sensores necesarios para llevar a cabo las mediciones. Se realizó un análisis de los diferentes tipos de sistemas de computación informática determinando que la ruta más adecuada para la aplicación a desarrollar es la utilización de un microcontrolador, en conjunto con el módulo de comunicaciones GSM/GPRS. Se desarrolló una plataforma IoT para la comunicación y almacenaje de la información, así como un sistema de procesamiento de información basado en la nube. Obteniendo así una estación meteorológica conectada a un sistema capaz de realizar la supervisión de cultivos agrícolas probada en un ambiente controlado.

Por lo que concierne al objetivo específico de la evaluación técnica del sistema, se llevó a cabo un estudio técnico, identificando los aspectos necesarios para poder realizar la manufactura y producción de los equipos desarrollados, determinando la macro localización óptima para el proyecto, así como algunos aspectos organizacionales, tales como son: el desarrollo del organigrama, así como la estructura de costos y determinación jurídica.

En el objetivo específico de la evaluación comercial del sistema, se validó el interés del mercado por el sistema desarrollado, esto mediante la aplicación de herramientas enfocadas a determinar las necesidades del grupo objetivo y desarrollando un sistema a medida, capaz de solucionar los problemas identificados. También se analizó el estado del mercado actual,

comprobando que existe una tendencia al alza en la demanda de equipos tecnológicos para el sector agrícola.

Los resultados logrados fueron posibles gracias al estudio del conjunto de técnicas utilizadas en la agricultura de precisión desde sus conceptos básicos, y su posterior desarrollo tecnológico enfocado al mercado objetivo. Los estudios realizados concluyen que el desarrollo de un sistema para supervisión de cultivos agrícolas es factible desde las perspectivas técnicas y comerciales, puede ser llevado a cabo, y además de esto, es viable realizar el desarrollo de este sistema, comprobando que existe un mercado interesado en la innovación y que existe un amplio margen de ganancias en el mercado.

Utilizando la herramienta propuesta por el CONACyT, se concluye que el desarrollo tecnológico se encuentra en la etapa TRL3 también denominada “prueba de concepto y que, de continuar con el proceso actual, y siguiendo el modelo de negocios propuesto, es un proyecto con altas probabilidades de éxito si es que se desea ser llevado a cabo por una organización. Una vez aplicada la herramienta desarrollada por el DoD, se obtuvo que el desarrollo tecnológico se encuentra en un nivel MRL3, indicando que la tecnología ha sido probada en condiciones de laboratorio demostrando que los conceptos de diseño son adecuados e indicando que los esfuerzos se deben de dirigir en documentar más a fondo los requisitos para obtener certificaciones principalmente de calidad para el proceso de producción, así como en desarrollar los manuales para manufactura.

En base a las descripciones de los diferentes niveles de madurez para la comercialización, se considera que actualmente el proyecto se encuentra en un nivel CRL4, indicando que la hipótesis primaria fue aceptada y que el desarrollo tecnológico es capaz de soportar la propuesta de valor, además confirma que ya fueron considerados los potenciales proveedores, socios y clientes dentro del análisis de la cadena de valor.

Por último, se considera que, una de las principales limitantes existentes al momento de introducir nuevas tecnologías dentro de los campos de producción agrícola, es la falta de promoción y exposición de los equipos, es imperativa la difusión de trabajos y equipos que demuestren que pueden generar resultados positivos a los productores agrícolas.

## **RECOMENDACIONES**

De la experiencia recabada en este trabajo y en otros previos relacionados con el desarrollo de sistemas de agricultura de precisión, se pone de manifiesto la dificultad para implementar un sistema que sea capaz de tomar mediciones de variables agroclimáticas y así mismo realizar un procesamiento adecuado de la información in situ, principalmente debido a la falta de robustez en los equipos implementados en estas áreas. Es por ello que el uso de tecnologías IoT son ampliamente recomendadas. Una variante que pudiera ser estudiada a futuro es el uso de otras metodologías y algoritmos para el procesamiento de información; ejemplo de esto son los sistemas desarrollados en base a redes neuronales.

Actualmente, se considera que el mercado de la agricultura de precisión (agricultura 4.0) está en una tendencia de crecimiento acelerado. Se proyecta que, en los próximos cinco años, los sectores productivos encargados de proveer la materia para exportaciones de frutos de berries, frutas y alimentos vegetales estén en un pico máximo histórico de demanda, por lo que cada día buscan nuevas formas de mejorar tanto el volumen como la calidad de la producción, o lograr una disminución de los costos de producción, siendo que la tecnología es un pilar fundamental para lograr la consecución de dichos objetivos. La oportunidad está abierta para todos aquellos desarrolladores de tecnología aplicada al sector agrícola.

## Referencias

- A. Darus, M. B. (1999). "Wabid Intesive IPM for Managment of Oil Palm Pests". Malasia: Malaysian Palm Oil Board.
- A., H. R. (1954). Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Reporter*. 38:245-253.
- Anzil, F. (2021). Planeación Estratégica. *zonaeconomica.com*. Dirección URL: <https://www.zonaeconomica.com/planeacion-estrategica> (Consultado el 11 de Ene de 2022).
- Arana-Coronado, J. J. (2019). *CRECIMIENTO POTENCIAL DE LAS EXPORTACIONES DE FRESA (Fragaria) MEXICANA*. Obtenido de AGROCIENCIA, 1 de abril
- Archila, D. M. (2013). Estado del arte de las redes de sensores inalámbricos. . REVISTA DIGITAL TIA. (UPTC): 1-23.
- ARDUINO. (2020). Plataforma de código abierto. *Arduino Board Nano*. Disponible en: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>> [Visitada en marzo 2017].
- Arroyo, V. E. (2007). *Administración de la tecnología*. México: Limusa.
- Auerhammer, H. (2001). Precision farming – The environmental challenge. *Computers and electronics in agriculture*. 30. United States of America.
- Baca Urbina, G. (2016). Evaluación de Proyectos. Mexico: McGraw Hill octava edicion ISBN:978-60712-1374-8.
- Banco Popular Dominicano. (2015). LA IMPORTANCIA DE CONTAR CON UNA PÁGINA WEB DE TU EMPRESA. S.A - *Banco Múltiple*. Republica Dominicana: <https://www.impulsapopular.com/marketing/la-importancia-de-contar-con-una-pagina-web-de-tu-empresa/>.
- Basualdo, A. B. (2016). Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de información climática en instituciones y organismos del MERCOSUR. . San José: IICA. ISBN:978-92-9248-590-0.
- Basualdo, A. B. ( de 2016). Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de información climática en instituciones y organismos del MERCOSUR. . San José: IICA. : ISBN:978-92-9248-590-0.
- Bellido, F. (2012). Gestión de la tecnología. *Compilación del Wikilibro de Gestión de la Tecnología*. España: Escuela de Organizacion Industrial.
- Beltran, J. M. (2013). Indicadores de Gestion: Herramientas para lograr la competitividad. Mexico: 3R Editores ISBN 9789583031076.
- Bongiovanni, R., Mantovani, E. C., Best, S., & Roel., A. (2006). AGRICULTURA DE PRECISIÓN: INTEGRANDO CONOCIMIENTOS PARA UNA AGRICULTURA MODERNA Y SUSTENTABLE. Montevideo, UY: PROCISUR.
- Burleigh, E. M. (1970). A method of predicting epidemic development of wheat leaf rust. *Phytopathology*. 60:805-811.
- Bush, V. (1945). Science The endless frontier. A report to the President by Vannevar Bush, Director of the Office of Scientific Research and Development. Washington: United States Government Printing Office.
- Cabaleri. (2021). Estación Meteorológica Internet WS-2902. *ESTACIÓN METEOROLOGICA - DESCRIPCIÓN*. Mexico: Recuperado de: <https://cabaleri.com/estacion-meteorologica/estacion-meteorologica-usb-ws-2080.html>.
- Cabral, N. Y. (2012). SISTEMA DE ALERTA PARA CONCHUELA DEL FRIJOL Y GUSANO COGOLLERO EN EL ESTADO DE ZACATECAS. *Folleto Técnico No. 44* . Mexico: INIFAP ISBN 978-607-425-932-2.
- Campbell C. L., a. M. (• . . . de 1990). Introduction to plant disease epidemiology Jonh Willes & Sons, . NY. 532 p.

- Campbell C. L., a. M. (1990). Introduction to plant disease epidemiology. . Jonh Willes & Sons, NY. 532 p.
- Cenipalma. (s.f.). Plagas de la palma de aceite en Colombia, Santafé de Bogotá; Fedepalma - Cenipalma. 2000.
- Chora Garcia, D. (2018). Nduino Agricultura de precisión con Arduino. *Raspberry Pi y Arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión*.
- Cohen, W., Nelson, R., & Walsh. (2002). Links and impacts: the influence of public research on industrial R&D.
- CONACyT. (2020).
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2020). Empresas de Base Tecnológica. República Argentina: CONICT <https://vinculacion.conicet.gov.ar/empresas-de-base-tecnologica-2/>.
- Cooperativa Agrícola Ganadera Cruz alta Limitada. (s.f). Agricultura de precisión. Argentina: Obtenido de: <https://coopca.com.ar/prestacion/11/Agricultura-de-precision.html>.
- Coria Avalos., V. (2009). Tecnología para la producción de aguacate en México. *Libro Técnico Núm. 8, SAGARPA-INIFAP*. Michoacán, México.
- Coria, V. (2009). Tecnología para la producción de aguacate en México. *Libro Técnico Núm. 8, SAGARPA-INIFAP. 2da. edición*. México.
- Corral, R. (2017). KPIs Útiles. España: LeexOnline.com.
- Corral, R. (2017). KPI's útiles. Diseña indicadores operativos que realmente sirvan para mejorar. España: LeexOnline.com.
- Dargie, W. P. (2010). Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice. West Sussex (UK):: John Wiley & Sons Ltd., Publication.
- Datta, S. K. (2014). An IoT gateway centric architecture to provide novel M2M services. *Proceedings of the 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*,. Seul, Korea: doi:10.1109/WFIoT.
- Department of Defense. (2020). Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook. Estados Unidos.
- Department of Energy. (2012). COMMERCIAL READINESS LEVEL SCALE. *TECHNOLOGY TO MARKET PLAN Template and Instructions*. Estados Unidos.
- Elinger, M. (1990). Sistema de información y alerta hidrológico para la cuenca del Río de la Plata: una experiencia en cooperación regional. Buenos Aires, Centro de Investigaciones Hidrológicas Ezeiza.
- Elinger, M. (1990). Sistema de información y alerta hidrológico para la cuenca del Río de la Plata: una experiencia en cooperación regional. . Buenos Aires, Centro de Investigaciones Hidrológicas Ezeiza. .
- Encore Lab. (2020). *Estaciones*. España.
- Enrique Cabrero, S. C. (2011). La vinculación entre la universidad y la industria en México. . *Una revisión a los hallazgos de la Encuesta Nacional de Vinculación*. . Scielo.
- Erosa. Arroyo, V. P. (2007). Administración de la Tecnología. Mexico: LIMUSA.
- Escudero, A. (2004). Metodología de Formulación de Proyectos. Guía Autoinstructiva., . Lima: Grupo Pachacamac.
- Etzkowitz, H. (2002). La triple hélice: universidad, industria y gobierno: Implicaciones para las políticas y la evaluación. Estocolmo: Science Policy Institute.
- Fabio R, L. (2003). LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN: UNA PRODUCCIÓN MÁS SOSTENIBLE Y COMPETITIVA CON VISIÓN FUTURISTA. *Conferencia presentada en el VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos*. Bogotá.
- FarmBot, el robot open source que juega al FarmVille con tu jardín. es. (s.f.). España.
- Fernández P., R. H. (1987). Red hidrometeorológica telemétrica en Mendoza-Argentina: un año de experiencias e investigaciones. Centro Regional Andino, Mendoza.

- Fernández P., R. H. (2007). Red hidrometeorológica telemétrica en Mendoza-Argentina: un año de experiencias e investigaciones. Centro Regional Andino, Mendoza .
- Fernández, R. M. (19 de Septiembre de 2014). Evaluación del consumo de energía de Arduino. España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Fundacion Aquae. (2018). ¿Sabes qué es un Arduino y para qué sirve? España: <https://www.fundacionaquae.org/sabes-arduino-sirve/>.
- Fundación de la Innovación Bankinter. (2011). El Internet de las Cosas En un mundo conectado de objetos inteligentes. Recuperado de <http://www.belt.es/expertos/>.
- García, D. C. (2018). Raspberry Pi y Arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión. *Revista de tecnologis de la infomratca y las telecomunicaciones Vol. 2, No. 1*. Ecuador: ISSN 2550-6730.
- García, J. M. (2017). Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. ISBN 978-8460793045.
- Gertsis A, F. D. (2013). Michaloudis M. Procedia Technol.
- Gil, E. (1997). Situación actual de la agricultura de precisión. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- GLOBALMET. (2017). Cosecha de agua, un milagro de la agricultura. <https://globalmet.mx/notas/>.
- Godwin, R. J. (2001). Precision farming of cereals: A five year experiment to develop management guidelines. *Project Report No. 267*. HGCA. Reino Unido: Cranfield University.
- Gonzalez, J. (2009). Manual de transferencia de tecnología y conocimiento. The transfer Institute ISBN: 978 – 84 – 613 – 5009 – 4.
- González, S. (2017). Smart Cities, la evolución de las ciudades. Colombia.
- Granted Consultancy. (2021). What is CRL? Obtenido de: <https://grantedltd.co.uk/funding-blog/what-is-crl/>.
- Gunther Gridling, B. W. (2007). Introduction To Microcontrollers. Austria: Vienna University of Technology,.
- Gurusamy, S. (2018). En camino a la agricultura 4.0. *FORO GLOBAL CNA*. Mexico: Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/En-camino-a-la-agricultura-4.0-20181027-0023.html>.
- Henry, M. (1997). El Proceso Estratégico: Conceptos, contextos y casos. Mexico: Prentice Hall.
- Huerta, J. C. (2019). *Las berries ya son el tercer producto agrícola de México más exportado*. Obtenido de <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/las-berries-se-colocan-como-el-tercer-producto-agricola-mexicano-mas-exportado-al-extranjero#:~:text=México%20produce%20800%20mil%20toneladas,y%20Guanajuato%20además%20de%20Jalisco>.
- ICA. (2011). Manejo fitosanitario del cultivo de la mora (*Rubus glaucus benth*) - Medidas para la temporada invernal. Colombia.
- Impacto Postitivo. (2020). ¿Qué es el Lienzo Lean Canvas? *Impacto Económico*. <https://somosimpactopositivo.com/impacto-economico/lean-canvas/>.
- INAFED. (2019). [www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16102a.html](http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16102a.html). (Fecha de consulta: 10 de Junio de 2019).
- INCAE. (2018). Lean Canvas: un lienzo para emprendedores. <https://www.incae.edu/es/blog/2018/05/21/lean-canvas-un-lienzo-para-emprendedores.html>.
- INIFAP. (2020). *Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas Automatizadas INIFAP*. Campo Experimental Pabellón, Mexico: Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos.

- INIFAP, (. N. (2013). PRODUCCION DE ZARZAMORA Frutillas.Nuevas opciones. Otras opciones de especies agrícolas. Tecnología validada. *FICHA TECNOLÓGICA POR SISTEMA PRODUCTO*. Mexico: Secretaria de Agricultura Ganaderia Pesca y Alimentacion.
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A. C. (IMNC). (2007). Sistema de gestión de la tecnología - Terminología . *NMX-GT-001-IMNC-2007* . Mexico: IMNC .
- Iván. Lizarazo Salcedo, O. A. (18 de Julio de 2011). Aplicaciones de la agricultura de precisión en "Elaeis Guineensis" e híbrido O x G. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*. Colombia: DOI:10.16924/revinge.33.12 ISSN. 0121-4993.
- Khosla, R. (s.f.). "Zoning in on Presicion agriculture" Colorado Sate University Agronomy Newsletter. Vol.21, No.1;2001.
- Khosla, R. (2001). Zoning in on Presicion agriculture . *Colorado Sate University Agronomy Newsletter*. Vol.21, No.1;. Estados Unidos: Colorado Sate University.
- Kim, L. (2000). La dinámica del aprendizaje tecnológico en la industrialización. Seul, Republica de Corea: Universidad de Corea.
- Krause R. A., a. M. (1975). Predictive systems: Modern approaces to disease control. *Annu. Rev. Phytopathol.* 12:31-47.
- Krause R. A., a. M. (1975). Predictive systems: Modern approaces to disease control. *Annu. Rev. Phytopathol.* 12:31-47.
- Lane, J. (2003). LA.NE, J. P. (2003). "The State of the Science in Thechnology Transfer: Implications for the Field ofAssistive Technology.". [*Journal of Thechnology Transier*, Vol. 28 (3/4), . Estados Unidos.
- Larrazabal, M. (2018). *¿Qué significa 'Smart Agro' para la agricultura 4.0?* Obtenido de <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/226562-Que-significa-'Smart-Agro'-para-la-agricultura-40.html>
- Leichman, A. (2018). 5 Israeli precision-ag technologies making farms smarter. Ministry of Economy and Industry.
- Leydesdorff, L. &. (1998). The triple Helix model as a model for innovation studies (25). pp. :195-203.
- LIBELIUM. (2017). Whitepaper enabling the smartagriculture-. *Multinacional tecnológica. Zaragoza*. España: <<http://www.libelium.com/white-paper-enabling-the-smartagriculture->
- Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (2021). Home Solutions Smart Agriculture Libelium-eBerry Smart Agriculture Solution Kit. Recuperado de: <https://www.the-iot-marketplace.com/libelium-eberry-smart-agriculture-solution-kit>.
- Londoño Gallego, J. A. (2018). Identificación De Tipos, Modelos Y Mecanismos De Transferencia Tecnológica Que Apalancan La Innovación. *Vol23(2)*, pp. 13-23, *enero-junio*. Colombia: Revista Cintex ISSN: 2422-2208.
- López G., M. d., Mejía C., J. C., & Schmal S., R. (2006). Un Acercamiento al Concepto de la Transferencia de Tecnología en las Universidades y sus Diferentes Manifestaciones. *Panorama Socioeconómico*. Talca, Chile: Universidad de Talca ISSN: 0716-1921.
- López, M., & Mejía, J. y. (2006). Un Acercamiento al Concepto de la Transferencia de Tecnología en las Universidades y sus Diferentes Manifestaciones. *Panorama Socioeconómico*, vol. 24, núm. 32, pp. 70-81. . Chile.: Universidad de Talca, .
- Maldonado, I. (2006). Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas como base para crear Sistema de Alerta temprana en la VII Región. En: Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas y sus aplicaciones productivas. Eds. Maldonado I. I., y Aravena S. R. Ch.
- Maldonado, I. (• de 2006). Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas como base para crear Sistema de Alerta temprana en la VII Región. En: Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas y sus aplicaciones productivas. . Eds. Maldonado I. I., y Aravena S. R. .

- Maldonado, I. (2006). Redes de estaciones meteorológicas automáticas y sus aplicaciones productivas. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu.
- Manotas, A. A. (2014). Revisión del estado del arte de las redes Zigbee en WSN. <<http://publicaciones.unisimonbolivar.edu.co/rdigital/inovacioning/index.php/identific/articulo/view/76/78>> [Visitada en marzo 2017].
- Mantovani EC, M. C. (2014). Manual de agricultura de precisión. IICA/ PROCISUR. Montevideo; . pp. 1–178.
- Martínez, R. (2017). Análisis y diseño de una red inalámbrica de sensores para un proyecto agrario. *Proyecto fin de carrera. : Ingeniería Técnica de Telecomunicación, Especialidad en telemática*. Catalunya (España): Universitat Oberta de Catalunya.
- Mena, C. J. (2010). Manejo integrado de plagas y enfermedades de frijol en Zacatecas. . *Folleto Técnico No. 24. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. 83 p.*
- Mena, C. J. (2010). Manejo integrado de plagas y enfermedades de frijol en Zacatecas. . *Folleto Técnico No. 24. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. 83 p.*
- Meza Moller, A. d., Romo Figueroa, M. G., & Duarte Ochoa, V. (2013). LA ZARZAMORA (RUBUS SP.), CULTIVO ALTERNATIVO PARA EL ESTADO DE SONORA. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Revista Mexicana de Agronegocios: ociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C ISSN: 1405-9282.
- Montoya, C. (1997). Principales enfermedades y plagas en el cultivo de la mora. . *Boletín Técnico Instituto Colombiano Agropecuario ICA*. Umata-Quinchía.: Litógrafos Asociados Ltda. “Litoas”.
- Morin, J. R. (1998). Gestión de los recursos tecnológicos. Madrid , España: Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica, ISBN: 84-922720-6-6.
- Mourão, L. C. (2019). Technology Transfer by Transnational Corporations: A Discussion of the Importance of Cooperative Arrangements in Foreign Direct Investment. *Electr. Eng., vol. 505, pp. 933- 938, jun.*
- Naiqian. Zhang, M. N. (2002). Precision agriculture - a worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*. 36.: United States of America: ISSN 0120-9965.
- National Research Council. (1987). Management of Technology: The Hidden Competitive Advantage. . Washington, DC: : The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18890>.
- Naylampmechatronics. (2018). SHIELD SIM900 GSM/GPRS. Mexico: <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-shields/146-shield-sim900-gsm-gprs.html>.
- Nirian, P. O. (2019). Proyecto empresarial. Economipedia.com.
- Nirian, P. O. (15 de agosto de 2019). Proyecto empresarial. Economipedia.com. Economipedia.com.
- OCDE Y Eurostat. (2005). Manual de Oslo. Grupo Tragsa.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). (2013). frontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. . ISBN 978-92-5-307304-7.
- Orlando. Santillán, M. R. (2018). La inversión en Agricultura de Precisión (AP) produce mayores ganancias comparada con la agricultura convencional al reducir los gastos de irrigación, control de plagas y fertilización. *Agricultura de precisión*. Mexico: INCyTU <https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/index.php/notas/76-15-agricultura-de-precision-n>.
- Ossa Duque, S. I. (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. *Vector 12, enero-diciembre 2017, 51-60*. Colombia: ISSN 1909-7891 DOI: 10.17151/vect.2017.12.6.

- P. Klintonberg, F. W. (2014). Successful technology transfer : What does it take? *Appl. Energy*, vol. 130, pp. 807-813. Estados Unidos.
- Padilla, M. C. (2011). *Formulación y Evaluación de Proyectos*. Colombia: ECOE Ediciones Segunda Edición ISBN 978-958-648-700-9.
- Palos, J. C. (2017). La tecnología detona la productividad en el campo. *ECONOMÍA/ JALISCO EXPORTA PRODUCTOS DEL CAMPO A 80 PAÍSES*. <https://www.informador.mx/economia/La-tecnologia-detona-la-productividad-en-el-campo-20170923-0013.html>.
- Paolini, N. A. (s.f.). DIFERENTES TIPOS DE ORGANIZACIONES ¿Por qué no todas son iguales? Argentina: FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS DE LA PLATA.
- Pardo Martínez, C. I. (2019). El modelo triple hélice: la articulación Estado, empresa y universidad. *INNOVACIÓN*. Recuperado de: <https://www.portafolio.co/innovacion/el-modelo-triple-helice-la-articulacion-estado-empresa-y-universidad-530122>.
- Pinochet, A. R. (2020). La savia da la orden de cuando regar. Chile: Obtenido de: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/savia-orden-cuando-regar-t45389.htm>.
- Planas de Martí, S. (2019). AGRICULTURA DE PRECISIÓN y PROTECCIÓN DE CULTIVOS. *Revista de Ingeniería, [S.l.]*, n. 47, p. 10-19, ene. 2019. . Cataluña (España):. ISSN 20110049.
- PUCHALT, J. (2019). Qué ventajas tienen las ferias comerciales frente a otras herramientas de marketing. *COMERCIAL Y VENTAS*. España: Asociación de Ferias Españolas <https://www.esic.edu/rethink/comercial-y-ventas/cuales-son-las-principales-ventajas-de-las-ferias-comerciales>.
- Quiroga, E. A. (2016). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*. Colombia: DOI: 10.17013/risti.24.39–56.
- Rabbinge R. and, R. F. (1983). EPIPRE: a disease and pest management system for Winter wheat, taking account of micrometeorological factors. . *EPPO Bull.* 13-2.
- Radiomóvil Dipsa SA de CV. (2021). Tecnología 2G (GSM) Regiones 1 a 9. *Mapas de Cobertura*. [https://www.telcel.com/mundo\\_telcel/quienes-somos/corporativo/mapas-cobertura](https://www.telcel.com/mundo_telcel/quienes-somos/corporativo/mapas-cobertura).
- Ramos Vargas, G. (2020). MATERIAL BIO-COMPUESTO DE MATRIZ DE POLIURETANO REFORZADO CON FIBRAS DE QUERATINA. ESTRATEGIA PARA SU MADURACIÓN TECNOLÓGICA. *Tesis de Maestría*. Mexico: Tecnológico Nacional de Mexico Campus Queretaro.
- Rejas, C. A. (2017). *Las universidades y la transferencia tecnológica*. Scielo.
- Riquelme Leiva, M. (2015). *Las 5 Fuerzas de Porter – Clave para el Éxito de la Empresa*. Chile: Obtenido de <https://www.5fuerzasdeporter.com/>. Obtenido de <https://www.5fuerzasdeporter.com/>
- Roncancio, G. (2018). ¿Qué es la Planeación Estratégica y para qué sirve? España: <https://gestion.pensemos.com/que-es-la-planeacion-estrategica-y-para-que-sirve>.
- Rosen, S. (2019). *Estrategias de evaluación de tecnologías*.
- Royle, D. a. (1988). The costs and benefits of disease forecasting in farming practice. In: *Control of Plant Diseases: Costs and Benefits*. B.C. Clifford and E. Lester eds. Blackwell, Oxford.
- Royle, D. a. (1988). The costs and benefits of disease forecasting in farming practice. In: *Control of Plant Diseases: Costs and Benefits*. Blackwell, Oxford.
- Sabater, J. G. (2009). *Manual de transferencia de tecnología y conocimiento*. ISBN: 978 – 84 – 613 – 5009 – 4 .
- Salgado, M. L. (2017). *FUNDAMENTOS ECOLÓGICOS DEL MANEJO INTEGRADO DE ENFERMEDADES*. Mexico: Universidad Autónoma del Estado de Mexico.

- Salvador, R. S. (2017). Analisis y propuesta de mejora al programa incorporacion de maestros y doctores en la industria del CONACYT. *Tesis de grado Maestria en Ciencias en administracion publica*. Mexico: Instituto Politecnico Nacional.
- Savkin, A. (2017). Los principales indicadores de TI para su Cuadro de Mando. *BSC Designer*. <https://bscdesigner.com/es/principales-kpis-de-ti.htm>. .
- Secor G., R. V. (2006). Redes agro meteorológicas y sistemas de alerta e Estados Unidos en: *Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas y sus aplicaciones productivas. Boletín INIA N° 145*. . Chile. Instituto de Inv Agropecuarias.
- Secor G., R. V. (2006). Redes agro meteorológicas y sistemas de alerta e Estados Unidos en: *Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas y sus aplicaciones productiva. Chilán, Chile. Instituto de Investigaciones: Eds Maldonado I. I., y Aravena S. R.* .
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). *Agro Oferta* . <https://www.gob.mx/siap/>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). *Balanza Comercial Agropecuaria Y Agroindustrial Agosto 2021. Reporte mensual de la Balanza Comercial Agroalimentaria de México*. Gobierno de Mexico.
- SIAP. (2017). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Boletín mensual numero* .
- Siegel, D., Waldman, D., Leanne, A., & Link, A. (2004). Toward a model of the effective transfer of scientific knowledge from academicians to practitioners : qualitative evidence from the commercialization of university technologies. *Research Policy*, 32:27-48.
- SIMcom. (2013). *SIM900 Hardware Design. SIMcom Wireless Solution*.
- Soeder, W. E. (1990). "A Guide to the Best Technology Transfer Practices. *Journal of Thechnology 'Iransjer, Vol. 15 (1:2), pp. 5*. Estados Unidos.
- Solleiro Rebolledo, J. (2006). *Diplomado en grstión de proyectos tecnologicos y propiedad industrial. Formulacion, ejecucion y gestion de proyectosde innovacion*. Mexico: UNAM.
- Solleiro, J. &. (2008). *Gestión Tecnológica: conceptos y prácticas*. . México: : Plaza & Janes.
- Storey, D. J. (1998). *New technology-based firms in the European Union: An introduction.*, *Research Policy*.
- Suárez, M. (2014). *Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología Zigbee*. Colombia: 6º Congreso Argentino de AgroInformática.
- Sung, W. C., & Lin, J. (2014). *Multi-Sensors Data Fusion Based on Arduino Board and XBee Module Technology. 2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control*. Taichung (Taiwan): Department of Electrical Engineering National Chin-Yi University of Technology.
- Sunil Thrikawala, A. W. (1999). Economic feasibility of variable-rate technology for nitrogen on corn. Vol.81,No.4. *American Journal of Economics*. <https://doi.org/10.2307/1244334>.
- T. Fairhurst, I. R. (2003). "A conceptual framework for presicion agriculture in oil palm plantations". Singapore. : ISBN981-04-8485-2, 2003.
- Tecnológico Nacional de México. (2015). *Modelo de Comercialización y Transferencia de Tecnología. Hacia Un Nuevo Modelo Educativo Avances y Perspectivas*. D.R. © Tecnológico Nacional de México.
- The Free Library. (2014). *Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precision Soportada en IoT. REcuperada de* <https://www.thefreelibrary.com/Propuesta+de+una+Arquitectura+para+Agricultura+de+Precision+Soportada...-a0524449138>.
- TyN Magazine. (2021). *¿Qué tan sencillo es constituir una empresa en México? Digital Economy*. TyN Magazine. Recuperado de: "<https://tynmagazine.com/que-tan-sencillo-es-constituir-una-empresa-en-mexico/>".
- UNAM. (s.f.). *Términos relativos a la innovación*. Mexico: Facultad de Estudio superiores Acatlán <https://paidi.acatlan.unam.mx/index.php>.

- Ungurean, I. G.-C. (2014.). An IoT architecture for things from industrial environment. *In Proceedings of the Communications (COMM) 10th International Conference*. Romania: doi:10.1109/.
- Valverde, J. P. (2018). Lean Canvas: un lienzo para emprendedores. *Revista Mercados y Tendencias* . Mexico: Maestrías INCAE.
- Villon, D. (2009). Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión. *Tesis para optar el título de ingeniero electrónico*, . Lima (Perú): Pontifica Universidad Católica del Perú.
- Villota, M. A. (2021). Planeación estratégica y nuevos proyectos en empresa propia y/o de familiares o de otros. Colombia: Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas; Universidad Icesi.
- Vivas-Carmona. (2017). El Manejo Integrado de Plagas (MIP): Perspectivas e importancia de su impacto en nuestra región. *Selva Andina Biosph.* 5(2):67-69.
- Vivas-Carmona. (2017). El Manejo Integrado de Plagas (MIP): Perspectivas e importancia de su impacto en nuestra región. *Selva Andina Biosph.* 5(2):67-69.
- Wikipedia. (13 de Mayo de 2020). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Transferencia\\_tecnol%C3%B3gica](https://es.wikipedia.org/wiki/Transferencia_tecnol%C3%B3gica)
- WindUp. (s.f.). Qué es el Modelo Canvas y para qué sirve. <https://windup.es/blog/que-es-modelo-canvas-para-que-sirve/>.

## Anexo Uno: Diagnóstico del Nivel de Madurez Tecnológica

El formato oficial autorizado por el CONACyT (2020), para realizar el diagnóstico del nivel de madurez tecnológica es el presentado en la imagen siguiente:

**Tabla 24 Formato para evaluación de nivel de madurez tecnológica**

Nivel de Madurez de Tecnológica (TRL)		Elementos clave	ID	Parámetros esperados al final de la etapa. Si no ha cumplido con los siguientes aspectos, se encuentra en un nivel inferior del TRL.
Desarrollo de la invención	1	<b>Investigación básica.</b> <b>Principios básicos observados y reportados.</b>  Artículos científicos publicados sobre los principios de la nueva tecnología.	1	¿Finalizó con la investigación básica de su idea?
			2	¿Identificó principios de investigación básica que pudieran trasladarse en principios nuevos que puedan ser utilizados en nuevas tecnologías?
	2	<b>Investigación de Laboratorio.</b> <b>Concepto tecnológico y/o aplicación tecnológica formulada. Investigación aplicada.</b>  Publicaciones o referencias que subrayan las aplicaciones de la nueva tecnología. Inicio de la invención.	1	¿Realizó un análisis de los artículos científicos, modelos o teorías científicas que respaldan la aplicación de la idea en algún área tecnológica?
			2	¿Realizó estudios de búsqueda y análisis de patentes a nivel nacional e internacional, y los resultados indicaron que no existe un desarrollo igual a su idea? (benchmark tecnológico)
			3	¿Ha explorado principios básicos de manufacturabilidad?
			4	¿Ha explorado posibles usuarios de la invención?
			5	¿Cuenta con un grupo de investigación que pueda facilitar la evaluación inicial de factibilidad de la tecnología?
			6	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?
Validación de concepto	3	<b>Investigación de Laboratorio.</b> <b>Prueba experimental de concepto</b>  Primera evaluación de la factibilidad de un concepto y su tecnología.	1	¿Tiene identificados los componentes de su invención tecnológica?
			2	¿Ha llevado a cabo algún proceso de validación de mercado sobre su invención? (I+D en laboratorio más primeras pláticas con posibles usuarios)
			3	¿Realizó/actualizó estudios de búsqueda y análisis de patentes a nivel nacional e internacional, y los resultados indicaron que no existe un desarrollo igual a su idea? (benchmark tecnológico)
			4	¿Los resultados de la búsqueda y análisis de patentes indicaron que la invención puede ser protegida mediante algún mecanismo de protección?
			5	¿Ha realizado un estudio sobre los aspectos regulatorios (comités de ética, normas, ISO's, y certificaciones) que son requeridos para su invención tecnológica?
			6	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?
	4	<b>Desarrollo Tecnológico.</b> <b>Validación tecnológica a nivel laboratorio</b>  Validación de un prototipo inicial con componentes integrados en laboratorio con baja confiabilidad de comportamiento.	1	¿Ha integrado los componentes principales de su invención tecnológica?
			2	¿Ha realizado pruebas de validación de efectividad de dicha invención en laboratorio?
			3	¿Ha explorado con mayor profundidad aspectos / certificaciones de manufacturabilidad relacionados con el desarrollo de su invención tecnológica?
			4	¿Ha continuado la validación de mercado de su invención con más entrevistas con usuarios potenciales y estudios de mercado?
			5	¿Su invención tecnológica funciona a nivel laboratorio?
			6	¿Identificó los riesgos tecnológicos de mercado y financieros con un plan de mitigación de los mismos?
			7	¿Actualizó el estudio de patentes nacionales e internacional, y tiene definida una estrategia de gestión de la propiedad intelectual? (benchmark tecnológico)
			8	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?
Desarrollo de prototipo	5	<b>Desarrollo Tecnológico.</b> <b>Tecnología validada en laboratorio pero en condiciones de un entorno relevante (condiciones que simulan condiciones existentes en un entorno real).</b>  La integración de los componentes empieza a ser de alta confiabilidad. Para el caso de plataformas tecnológicas, el ambiente relevante debe considerar condiciones industriales, no de laboratorio experimental académico.	1	¿Ha probado su prototipo en laboratorio en condiciones de un ambiente real?
			2	¿Tiene plenamente identificadas y considerados aspectos de manufacturabilidad del futuro producto?
			3	¿El prototipo a escala real cumple con las normas y/o previsiones legales o del medio ambiente del sector?
			4	¿Actualizó el estudio de patentes nacionales e internacional, y tiene definida una estrategia de gestión de la propiedad intelectual? (benchmark tecnológico)

**Tabla 25 Aplicación de herramienta TRL al proyecto**

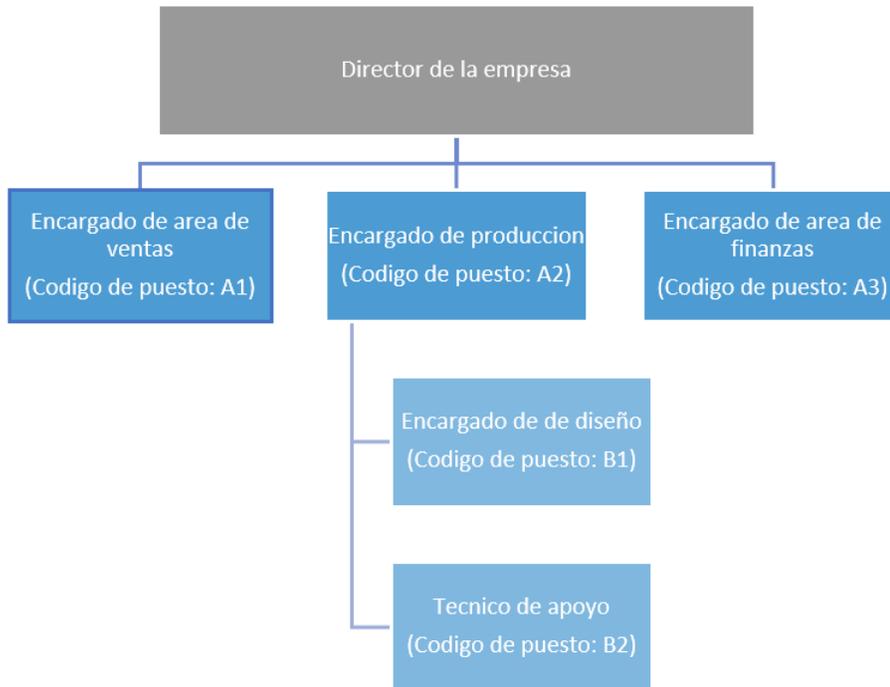
Nivel de madurez tecnológica (TRL)		Elementos clave	ID	Parámetros esperados al final de la etapa. si no ha cumplido con los siguientes aspectos, se encuentra en un nivel inferior del TRL	Conteste, Si o No
Desarrollo de la invención	1	<b>Investigación básica. Principios básicos y reportados</b>  Artículos científicos publicados sobre los principios de la nueva tecnología	1	¿Finalizó con la investigación básica de su idea?	Si
			2	¿Identificó principios de investigación básica que pudieran trasladarse en principios nuevos que puedan ser utilizados en nuevas tecnologías?	Si
	2	<b>Investigación de laboratorio. Concepto tecnológico y/o aplicación tecnológica formulada. Investigación aplicada</b>  Publicaciones o referencias que subrayan las aplicaciones de la nueva tecnología. Inicio de la invención	1	¿Realizo un análisis de los artículos científicos, modelos o teorías científicas que respaldan la aplicación de la idea en algún área tecnológica?	Si
			2	¿Realizo estudios de búsqueda y análisis de patentes a nivel nacional e internacional, y los resultados indicaron que no existe un desarrollo igual a su idea? (benchmark tecnológico)	Si
			3	¿Ha explorado principios básicos de manufacturabilidad?	Si
			4	¿Ha explorado posibles usuarios de la invención?	Si
			5	¿Cuenta con un grupo de investigación que pueda facilitar la evaluación inicial de factibilidad de la tecnología?	Si
			6	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?	Si
Validación de concepto	3	<b>Investigación de laboratorio. Prueba experimental de concepto</b>  Primera evaluación de la factibilidad de un concepto y su tecnología	1	¿Tiene identificados los componentes de su invención tecnológica?	Si
			2	¿Ha llevado a cabo algún proceso de validación de mercado sobre su invención? (i+D en laboratorio más primeras pláticas con posibles usuarios)	Si
			3	¿Realizo/actualizo estudios de búsqueda y análisis de patentes a nivel nacional e internacional, y los resultados indicaron que no existe un desarrollo igual a su idea? (benchmark tecnológico)	Si
			4	¿Los resultados de la búsqueda y análisis de patentes indicaron que la invención puede ser protegida mediante algún mecanismo de protección?	Si
			5	¿Ha realizado un estudio sobre los aspectos regulatorios (comités de ética, normas, ISO's y certificaciones) que son requeridos para su invención tecnológica?	Si

			6	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?	Si
	4	<b>Desarrollo tecnológico</b> <b>Validación tecnológica a nivel de laboratorio</b>  Validación de un prototipo inicial con componentes integrados en laboratorio con baja confiabilidad de comportamiento	1	¿Ha integrado los componentes principales de su invención tecnológica?	Si
			2	¿Ha realizado pruebas de validación de efectividad de dicha invención en laboratorio?	Si
			3	¿Ha explorado con mayor profundidad aspectos/ certificaciones de manufacturabilidad relacionados con el desarrollo de su invención tecnológica?	Si
			4	¿Ha continuado la validación de mercado de su invención con más entrevistas con usuarios potenciales y estudios de mercado?	Si
			5	¿Su invención tecnológica funciona a nivel laboratorio?	Si
			6	¿Identifico los riesgos tecnológicos de mercado y financieros con un plan de mitigación de los mismos?	No
			7	¿Actualizo el estudio de patentes nacionales e internacionales y tiene definida una estrategia de la gestión de la propiedad intelectual? (benchmark tecnológico)	Si
			8	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?	No
<b>Desarrollo de prototipo</b>	5	<b>Desarrollo tecnológico. Tecnología validada en laboratorio, pero en condiciones de un entorno relevante (condiciones que simulan condiciones existentes en su entorno real).</b>  La integración de los componentes empieza a ser de alta confiabilidad Para el caso de plataformas tecnológicas, el ambiente relevante debe considerar condiciones industriales, no de laboratorio experimental académico	1	¿Ha probado su prototipo en laboratorio en condiciones de un ambiente real?	Si
			2	¿Tiene plenamente identificadas y considerados aspectos de manufacturabilidad del futuro producto?	Si
			3	¿El prototipo a escala real cumple con las normas y/o previsiones legales del medio ambiente del sector?	Si
			4	¿Actualizo el estudio de patentes nacionales e internacionales y tiene definida una estrategia de la gestión de la propiedad intelectual? (benchmark tecnológico)	No
<b>Producción piloto y demostración</b>	6	<b>Demostración tecnológica.</b>	1	¿Tiene integradas las tecnologías de producto y manufactura en una planta piloto?	No

		<b>Tecnología demostrada en un ambiente relevante</b>  Para el caso de plataformas tecnológicas, el ambiente relevante debe considerar condiciones industriales Preproducción de un producto, incluyendo pruebas en un ambiente real	2	¿Tiene alineado el nuevo producto con las tecnologías de producción?	No
			3	¿Cuenta con usuarios potenciales que prueben la producción a baja escala?	Si
			4	¿Cuenta con una organización operativa acorde a las necesidades de operación de la producción?	No
			5	¿Inicio el proceso sobre el registro de las certificaciones requeridas por instancias gubernamentales para la producción y despliegue del prototipo?	No
			7	<b>Desarrollo de producto Demostración de prototipo a nivel sistema en un ambiente operativo real</b>  Producción a baja escala para demostración en ambiente operativo real	1
			2	¿Cuenta con usuarios potenciales que prueben la versión final del producto?	Si
			3	¿Cuenta con una estructura organizacional adecuada para la implementación?	Si
			4	¿Cuenta con un producto terminado para prueba de primeros clientes?	No
Introducción inicial al mercado	8	<b>Desarrollo de producto Sistema completo y evaluado</b>  Manufacturabilidad probada y validada en ambiente real Sistema completo y certificado. Producto o servicio comercializable	1	¿Se encuentra manufacturando el producto en su versión final?	No
			2	¿Tiene un producto comercializable?	No
			3	¿Su organización es operativa al 100%?	No
			4	¿Su prototipo cumple con estándares de la industria en cuestión?	No
			5	¿Elaboro los documentos para la utilización y mantenimiento del producto? (Manuales de usuario, soporte técnico)	No
Expansión al mercado	9	<b>Producto terminado. Pruebas con éxito en entorno real. Despliegue</b>  Tecnología disponible en el mercado	1	¿Cuenta con producción sostenida?	No
			2	¿Cuenta con un producto que cuenta con un crecimiento de mercado?	No
			3	¿Cuenta con cambios incrementales de producto que le lleven a crear nuevas versiones?	No
			4	¿Los procesos de manufactura y producción son optimizados a través de innovaciones incrementales?	No

## Anexo Dos: Descripciones de puestos

La propuesta para la estructura organizacional de la empresa es:



**Tabla 26 Descripción de puesto A1**

Nombre del puesto:	Encargado de área de ventas
Jefe directo	Director de empresa
Supervisión a ejercer	No cuenta con personal a cargo
Formación académica	Profesionales de ventas de tecnología de la información y las comunicaciones
Años de experiencia	2-4 años
Objetivo del puesto	Elaborar y crear una cartera de clientes y una cartera que le permita satisfacer la demanda de sus clientes
Conocimientos y habilidades requeridas	Conocimiento indispensable en el área de manejo de venta de equipos tecnológicos para el campo agrícola. Debe manejar al 100% herramientas tecnológicas como el Office e Internet. Debe ser orientado a resultados, ser analítico para mediar la venta /alquiler. Debe ser una persona con alto grado de responsabilidad.
Fuente de información para consulta de salarios promedio	<a href="https://imco.org.mx/comparacarreras/carrera/510">https://imco.org.mx/comparacarreras/carrera/510</a>

**Tabla 27 Descripción de puesto A2**

Nombre del puesto:	Encargado de área de producción
Jefe directo	Director de empresa
Supervisión a ejercer	Encargado de diseño, Técnico de apoyo
Formación académica	Licenciatura: Ingeniería industrial, mecánica, electrónica y tecnología, programas multidisciplinarios o generales
Años de experiencia	2-4 años
Objetivo del puesto	Producción de las placas base para equipos electrónicos, armado de estaciones meteorológicas
Conocimientos y habilidades requeridas	Operación y producción de PCB con equipo router, armado y soldadura de circuitos electrónicos, uso de generador de funciones y osciloscopio
Fuente de información para consulta de salarios promedio	<a href="https://imco.org.mx/comparacarreras/carrera/510">https://imco.org.mx/comparacarreras/carrera/510</a>

**Tabla 28 Descripción de puesto A3**

Nombre del puesto:	Encargado área de finanzas
Jefe directo	Director de empresa
Supervisión a ejercer	No cuenta con personal a cargo
Formación académica	Licenciatura en Contabilidad/ Áreas Contables
Años de experiencia	2-4 años
Objetivo del puesto	Supervisar y Realizar la contabilidad de los proyectos asignados. Elaborar todas las herramientas contables para la toma de decisiones de la empresa
Conocimientos y habilidades requeridas	1) Realizar las revisiones mensuales de la información contable. 2) Revisar los costos y avalúos de los activos de la empresa y controlar las depreciaciones de los activos. 3) Firmar los estados financieros mensuales previamente revisados y corregidos. 4) Realizar la revisión y corrección de los estados financieros emitidos durante el mes. 5) Velar por que la contabilidad de la empresa se mantenga al día. 6) Emitir los reportes tributarios y realizar las presentaciones de dichos pagos tributarios.
Fuente de información para consulta de salarios promedio	<a href="https://misalario.org/empleoysalario/funcion-y-sueldo/contadores">https://misalario.org/empleoysalario/funcion-y-sueldo/contadores</a>

**Tabla 29 Descripción de puesto B1**

Nombre del puesto:	Encargado de diseño
Jefe directo	Encargado de producción
Supervisión a ejercer	No cuenta con personal a cargo
Formación académica	Licenciatura: Ingeniería industrial, mecánica, electrónica y tecnología, programas multidisciplinarios o generales
Años de experiencia	2-4 años
Objetivo del puesto	
Conocimientos y habilidades requeridas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Realizar el diagnóstico de los programas existentes dentro de la empresa y las posibilidades que se encuentran fuera de la empresa.</li> <li>2) Realizar las depuraciones de los programas existentes para adaptar nuevos requerimientos de la empresa.</li> <li>3) Diseñar e implementar programas de uso diario y de uso integrado para la empresa.</li> <li>4) Elaborar bosquejos en papel y digital de los programas diseñados.</li> <li>5) Correr y examinar los programas diseñados antes de ponerlos a funcionar.</li> </ol> Indispensable el manejo de lenguajes modernos de programación y el manejo de redes. Debe saber diagramar y codificar programas. Debe saber diseñar circuitos electrónicos y PCB
Fuente de información para consulta de salarios promedio	<a href="https://imco.org.mx/comparacarreras/carrera/510">https://imco.org.mx/comparacarreras/carrera/510</a>

**Tabla 30 Descripción de puesto B2**

Nombre del puesto:	Técnico de apoyo
Jefe directo	Encargado de producción
Supervisión a ejercer	No cuenta con personal a cargo
Formación académica	Técnico en electrónica
Años de experiencia	1-2 años
Objetivo del puesto	Apoyo producción de las placas base para equipos electrónicos, armado de estaciones meteorológicas
Conocimientos y habilidades requeridas	Armado y soldadura de circuitos electrónicos
Fuente de información para consulta de salarios promedio	<a href="https://www.glassdoor.com.mx/Sueldos/técnico-en-electrónica-sueldo-SRCH_KO0,22.htm">https://www.glassdoor.com.mx/Sueldos/técnico-en-electrónica-sueldo-SRCH_KO0,22.htm</a>

## Apéndice Uno: Especificaciones técnicas de los sensores utilizados

Tabla 31 Información técnica ADCON Pro10 Wind Speed

Variable	Información técnica
Dimensiones de la base	900 x 200 x 360mm (L x W x H)
Peso	4000gr
Materiales utilizados	Aluminio anodizado
Clase de protección	IP-64
Entorno de operación	-40°C ... +70°C 0 ... 100% rh
Principio de medición	Magnético
Rango de velocidad	0 ... 75 m/s (0 ... 270km/h)
Resolución	< 0,1m/s
Precisión	± 0,3m/s
Señal de salida	0...2,5VDC
Cable y conector	7pin Binder M9
Voltaje de entrada	6V – 10V

Fuente:ADCON Datasheet s.f.

Tabla 32 Información técnica ADCON Pro10 Wind Direction

Variable	Información técnica
Dimensiones de la base	900 x 200 x 360mm (L x W x H)
Peso	4000gr
Materiales utilizados	Aluminio anodizado
Clase de protección	IP-64
Entorno de operación	-40°C ... +70°C 0 ... 100% rh
Principio de medición	Magnético
Rango de dirección	0 ... 360°
Resolución	1°
Precisión	< ± 2,5°
Señal de salida	0...2,5VDC
Cable y conector	7pin Binder M9
Voltaje de entrada	6v -10v

Fuente:ADCON Datasheet s.f.

**Tabla 33 Información técnica ADCON TR1**

<b>Variable</b>	<b>Información técnica</b>
<b>Dimensiones</b>	L: 415 x H: 190 x Ø 102 mm Solo el sensor: 100mm x 12 mm Ø
<b>Peso</b>	615 g
<b>Tiempo de respuesta</b>	Menos de 2 seg.
<b>Temperatura de almacenaje</b>	-40°C ... +80°C
<b>Consumo de energía</b>	4,5 ... 15VDC / ~ 1mA
<b>Sensor de Temperatura</b>	pt1000 (DIN A)
<b>Rango de medición</b>	-40°C ... +60°C
<b>Precisión del sensor</b>	< ± 0,1°C @ +20°C
<b>Linealidad, Histéresis, Repetitividad</b>	< ± 0,1°C @ +20°C
<b>Señal de salida</b>	2 x 0 ... 2.5VDC
<b>Sensor de humedad</b>	HC101
<b>Rango de medición</b>	0% ... 100%
<b>Precisión del sensor</b>	± 1% de 0 ... 90% ± 2% de 90 ... 100%
<b>Linealidad, Histéresis, Repetitividad</b>	< ± 1% @ +20°C
<b>Cable y conector</b>	3 metros; 7-pin M9 male Binder

Fuente:ADCON Datasheet s.f.

**Tabla 34 Información técnica ADCON WMO**

<b>Variable</b>	<b>Información técnica</b>
<b>Dimensiones</b>	L: 292 x H: 190 x Ø 190 mm Orificio 200 cm <sup>2</sup>
<b>Tipo de operación</b>	Cubo basculante doble, fabricado en acero inoxidable 2100g
<b>Peso</b>	
<b>Clase de protección</b>	IP-64
<b>Temperatura de operación</b>	0°C ... +70°C
<b>Consumo de energía</b>	24VDC
<b>Capacidad</b>	Ver. 0.1mm: 0 ... 8mm/min Ver. 0.2mm: 0 ... 16mm/min
<b>Señal de salida</b>	Pulse Salida de pulso adicionalmente switch "normalmente cerrado"
<b>Linealidad, Histéresis, Repetitividad</b>	< ± 1% @ +20°C
<b>Cable y conector</b>	3 metros; 7-pin M9 male Binder

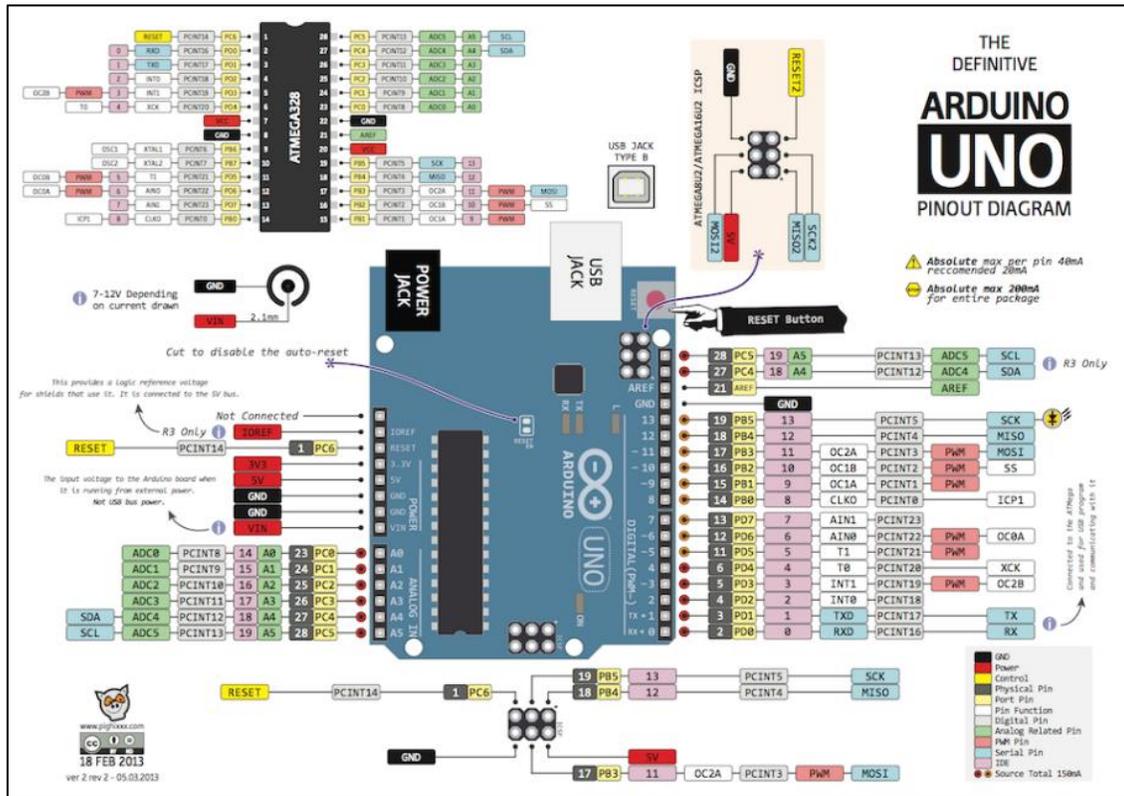
Fuente:ADCON Datasheet s.f.

**Tabla 35 Información técnica ADCON Radiación solar**

<b>Variable</b>	<b>Información técnica</b>
<b>Dimensiones de la base</b>	460 x 90 x 88mm (L x W x H)
<b>Peso</b>	615gr
<b>Materiales utilizados</b>	Aluminio anodizado
<b>Clase de protección</b>	IP-64
<b>Entorno de operación</b>	-30°C ... +70°C
<b>Rango</b>	400 ... 1100 nm
Máxima Irradiancia	2000 W/m <sup>2</sup>
<b>Dependencia de la temperatura</b>	+ 0,15% / °C (típica)
<b>Precisión</b>	60 ... 100µV / W / m <sup>2</sup>
<b>Señal de salida</b>	0...2,5VDC
<b>Tipo de salida</b>	Lineal
<b>Cable y conector</b>	7pin Binder M9
<b>Voltaje de entrada</b>	5.5v -7.2v

Fuente:ADCON Datasheet s.f.

## Apéndice Dos: Diagrama de pines ARDUINO UNO



## Apéndice Tres: Especificaciones técnicas Modulo Sim900

Tabla 36 Información Técnica GPRS Shield (Sim900)

	Mínimo	Típico	Máximo
<b>Voltaje I/O TTL</b>	4.8V	5.0V	5.2V
<b>Corriente</b>	1.5mA (sleep mode)	50mA	450mA
Temperatura de trabajo	-40°C	-	85°C
Voltaje de alimentación externo	5V		12V
<b>Normal</b>			
<b>Dimensiones</b>	-	110x58x19mm	-
<b>Peso</b>	-	79g	-
GPRS multi-slot class	-	10/8	-
GPRS mobile station	-	class B	-
Chip principal	-	SIM900	-
Compatibilidad Arduino	-	Uno, Leonardo	-
Control via comandos AT	-	GSM 07.07, 07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands	-
Bandas GSM/GPRS:	-	850,900,1800,1900 MHz	-
Socket		Tarjeta SIM	

Fuente: SIMcom Datasheet 2013

# Apéndice Cuatro: Herramienta MRL Criterios de evaluación

## Tabla 37 Criterios de evaluación herramienta MRL

Acquisition Phase		Pre-Materiel Development Decision (Pre-MDD)			Materiel Solution Analysis (MSA)	Technology Maturation and Risk Reduction (TMRR)			Engineering & Manufacturing Development (EMD)		Low-Rate Initial Production (LRIP)	Full-Rate Production (FRP)			
Technical Reviews					MDD	ASR	A	SRR/SFR	PDR	B	CDR	PRR/SVR	C	PCA	FRP
Thread	Sub-Thread	MRL 1	MRL 2	MRL 3	MRL 4	MRL 5	MRL 6	MRL 7	MRL 8	MRL 9	MRL 10				
A – Technology and Industrial Base	Technology Maturity	Should be assessed at TRL 1	Should be assessed at TRL 2	Should be assessed at TRL 3	Should be assessed at TRL 4	Should be assessed at TRL 5	Should be assessed at TRL 6	Should be assessed at TRL 7	Should be assessed at TRL 7 or TRL 8	Should be assessed at TRL 8 or TRL 9	Should be assessed at TRL 9				
	A.1 Industrial Base	Global trends in emerging industrial base capabilities identified.	Potential industrial base capability gaps identified.	Industrial base capabilities for potential sources identified for system concepts.	Industrial base capabilities surveyed for preferred materiel solution, key technologies, components, and/or key processes. Industrial base capability risks and issues included in AoA.	Industrial base capabilities assessment initiated to identify potential manufacturing sources. Sole/single/foreign source vendors and vendors of technologies with potential obsolescence issues identified and planning initiated to minimize risks.	Industrial base capabilities assessment for MS B completed. Industrial capability in place to support manufacturing of development articles. Plans to minimize sole/single/foreign sources and obsolescence issues complete. Need for sole/single/foreign sources justified. Potential alternative sources identified.	Industrial capability to support production analyzed. Sole/single/foreign sources, source stability, and obsolescence issues are assessed/monitored. Potential alternate sources developed if necessary.	Industrial base capability assessment for MS C completed. Industrial capability is in place to support LRIP. Sources are available, including multi-sourcing where cost-effective or necessary to mitigate risk.	Industrial capability assessment for FRP has been completed and capability is in place to support start of FRP.	Industrial capability supports FRP and is assessed to support modifications, upgrades, surge and other potential manufacturing requirements.				
	A.2 Manufacturing Technology Development	Global trends in manufacturing science and technology identified (i.e., concepts, capabilities).	Potential manufacturing science and technology gaps identified.	Manufacturing technology requirements identified to address potential capability gaps for system concepts.	Manufacturing technology development initiatives defined for preferred materiel solution. Manufacturing technology requirements considered in the AoA.	Required manufacturing technology development efforts initiated.	Manufacturing technology efforts continuing. Required manufacturing technology demonstrated in a production relevant environment.	Manufacturing technology efforts continuing. Required manufacturing technology development solutions demonstrated in a production representative environment.	Primary manufacturing technology efforts concluding. Improvement efforts continuing. Required manufacturing technology solutions validated on a pilot line.	Manufacturing technology process improvements efforts initiated for FRP.	Manufacturing technology continuous process improvements ongoing.				

Acquisition Phase		Pre-Materiel Development Decision (Pre-MDD)			Materiel Solution Analysis (MSA)	Technology Maturation and Risk Reduction (TMRR)			Engineering & Manufacturing Development (EMD)		Low-Rate Initial Production (LRIP)	Full-Rate Production (FRP)			
Technical Reviews					MDD	ASR	A	SRR/SFR	PDR	B	CDR	PRR/SVR	C	PCA	FRP
Thread	Sub-Thread	MRL 1	MRL 2	MRL 3	MRL 4	MRL 5	MRL 6	MRL 7	MRL 8	MRL 9	MRL 10				
B - Design	B.1 Producibility Program	Hypotheses developed for cause-effect relationships regarding technology variables and producibility.	Studies performed to test hypotheses regarding cause-effect relationships between technology variables and producibility. Elements identified which have a potential impact to producibility (i.e., materials, processes, capabilities, limitations).	System concept elements evaluated for manufacturability and producibility using experiments and modeling, and simulation.	Initial producibility assessments of preferred materiel solution complete. Results considered in AoA and documented in AS key components/technologies.	Producibility and manufacturability assessments of key technologies and components initiated. Ongoing design trades consider manufacturing processes and industrial base capability constraints. Manufacturing processes assessed for capability to be tested and verified in production. Manufacturing processes assessed for influence on O&S.	Producibility assessments and producibility trade studies (performance vs. producibility) of key technologies/components completed. Results used to shape AS, SEP, manufacturing and producibility plans, and planning for EMD or technology insertion programs. Preliminary design choices assessed against manufacturing processes and industrial base capability constraints. Producibility enhancement efforts (i.e., DFM, DFA, etc.) initiated.	Detailed producibility trade studies using knowledge of key design characteristics and related manufacturing process capability completed. Producibility enhancement efforts (i.e., DFM, DFA, etc.) ongoing for optimized integrated system. Manufacturing processes re-assessed as needed for capability to be tested and verified. Manufacturing processes re-assessed as needed for potential influence on O&S.	Producibility improvements implemented on system. Known producibility risks and issues managed for LRIP.	Prior producibility improvements analyzed for effectiveness during LRIP. Producibility risks and issues discovered in LRIP managed for FRP.	Design producibility improvements demonstrated in FRP. Process producibility improvements ongoing. All modifications, upgrades, DMSMS and other changes assessed for producibility.				
	B.2 Design Maturity	Current capability deficiencies and gaps identified.	Analyses performed to evaluate the feasibility of potential solutions to address capability gaps.	High-level performance, lifecycle, and technical requirements defined and evaluated for system concepts. Trade-offs in design options assessed based on experiments and initial MOEs.	Form, fit, and function constraints identified for preferred materiel solution. SEP and T&E Strategy recognize the need for the establishment and validation of manufacturing capability and management of manufacturing risk for the product life cycle. Initial KPPs identified for preferred materiel solution. System technical requirements and measures to support required capabilities identified.	Lower level performance requirements sufficient to proceed to preliminary design. All enabling/critical technologies and components identified and the product lifecycle considered. Evaluation of the design for KCs initiated. Product data required for prototype component manufacturing released.	System allocated baseline established. Product requirements and features are well enough defined to support PDR. Product data essential for subsystem/ system prototyping has been released, and all enabling/critical components have been prototyped. Preliminary KCs for the design identified and mitigation plans initiated.	Product design and features are well enough defined to support CDR, even though design change traffic may be significant. All product data essential for component manufacturing released. Potential KC risks and issues identified with mitigation plans in place.	Detailed design of product features and interfaces completed. All product data essential for system manufacturing released. Design change traffic does not significantly impact LRIP. KCs are attainable based upon pilot line demonstrations.	Major product design features and configuration are stable. System design has been validated through operational testing of LRIP items. PCA or equivalent complete as necessary. Design change traffic is limited. All KCs are controlled in LRIP to appropriate quality levels.	Product design is stable. Design changes are few and generally limited to those required for continuous improvement or in reaction to obsolescence. All KCs are controlled in FRP to appropriate quality levels.				

Acquisition Phase		Pre-Materiel Development Decision (Pre-MDD)			Materiel Solution Analysis (MSA)	Technology Maturation and Risk Reduction (TMRR)			Engineering & Manufacturing Development (EMD)	Low-Rate Initial Production (LRIP)	Full-Rate Production (FRP)			
Technical Reviews				MDD	ASR	A	SRR/SFR	PDR	B	CDR	PRR/SVR	C	PCA	FRP
Thread	Sub-Thread	MRL 1	MRL 2	MRL 3	MRL 4	MRL 5	MRL 6	MRL 7	MRL 8	MRL 9	MRL 10			
C - Cost & Funding	C.1 Production Cost Knowledge (Cost modeling)	Hypotheses developed regarding technology impact on affordability.	Cost model approach defined.	Manufacturing cost estimates for system concepts developed. Initial cost models developed which include high-level process steps and materials.	Cost estimates refined based on anticipated production volumes associated with preferred materiel solution. Cost model updated with identified cost drivers (i.e., process variables, manufacturing, materials, and special requirements). Cost model supports AoA and ASR.	Prototype components produced in a production relevant environment, or simulations drive end-to-end cost models. Cost model includes materials, labor, equipment, tooling/STE/SIE, setup, yield/scrap/rework, WIP, and capability/capacity constraints.	Cost model updated with design requirements, material specifications, tolerances, IMS, results of system/subsystem simulations and production relevant prototype demonstrations.	Cost model updated with the results of systems/sub-systems produced in a production representative environment, production plant layout and design, and obsolescence solutions.	Cost model updated with results of pilot line build.	FRP cost model updated with result of LRIP build.	Cost model validated against actual FRP cost.			
	C.2 Cost Analysis	Initial manufacturing and quality costs identified.	Potential manufacturing and quality cost drivers and system affordability gaps identified.	Analysis conducted to refine manufacturing and quality cost drivers, risks, and development strategy (i.e. lab to pilot to factory). Potential cost reduction and system affordability gap closure strategies identified.	Producibility and lifecycle cost risks and issues assessed for preferred materiel solution. Initial cost analysis supports the AoA and ASR.	Costs analyzed using prototype component actuals to ensure target costs are achievable. Decisions regarding design choices, make/buy, capacity, process capability, sources, quality, KCs, yield/rate, and variability influenced by cost models.	Costs analyzed using prototype system/sub-system actuals to ensure target costs are achievable. Cost targets allocated to subsystems. Cost reduction and avoidance strategies developed. Manufacturing cost drivers for "Should-Cost" model provided.	Manufacturing costs rolled up to system/sub-system level and tracked against targets. Detailed trade studies and engineering change requests supported by cost estimates. Cost reduction and avoidance strategies underway. Manufacturing cost drivers for "Should-Cost" model updated.	Costs analyzed using pilot line actuals to ensure target costs are achievable. Manufacturing cost analysis supports proposed changes to requirements or configuration. Cost reduction initiatives ongoing. Manufacturing cost drivers for "Should-Cost" model updated.	LRIP cost goals met and learning curves analyzed with actual data. Cost reduction initiatives ongoing. Touch labor efficiency analyzed to meet production rates and elements of inefficiency are identified with plans in place for reduction.	FRP cost goals met. Cost reduction initiatives ongoing.			
	C.3 Manufacturing Investment Budget	Potential manufacturing investment strategy developed.	Program/projects have reasonable budget estimates for reaching MRL 3 through experiment. Manufacturing investment budget ROM estimates identified to support industrial base and manufacturing capability gap closure strategies.	Program/projects have reasonable budget estimates for reaching MRL 4 by MS A. Preliminary manufacturing investment budget estimates for manufacturing gap closure recommendations developed.	Manufacturing technology budget initiatives developed and incorporated to reduce costs. Program has reasonable budget estimate for reaching MRL 6 by MS B. Estimate includes capital investment for production relevant equipment. All outstanding MRL 4 risks and issues understood with approved mitigation plans in place.	Program has updated budget estimate for reaching MRL 6 by MS B. All outstanding MRL 5 risks and issues understood with approved mitigation plans in place.	Program has reasonable budget estimate for reaching MRL 8 by MS C. Estimate includes capital investment for production-representative equipment by CDR and pilot line equipment by MS C. All outstanding MRL 6 risks and issues understood with approved mitigation plans in place.	Program has updated budget estimate for reaching MRL 8 by MS C. All outstanding MRL 7 risks and issues understood with approved mitigation plans in place.	Program has reasonable budget estimate for reaching MRL 9 by the FRP decision point. Estimate includes investment for LRIP and FRP. All outstanding MRL 8 risks and issues understood with approved mitigation plans in place.	Program has reasonable budget estimate for FRP. All outstanding MRL 9 risks and issues understood with approved mitigation plans in place.	Production budgets sufficient for production at required rates and schedule to support funded program.			

Acquisition Phase		Pre-Materiel Development Decision (Pre-MDD)			Materiel Solution Analysis (MSA)	Technology Maturation and Risk Reduction (TMRR)		Engineering & Manufacturing Development (EMD)			Low-Rate Initial Production (LRIP)	Full-Rate Production (FRP)			
Technical Reviews					MDD	ASR	A	SRR/SFR	PDR	B	CDR	PRR/SVR	C	PCA	FRP
Thread	Sub-Thread	MRL 1	MRL 2	MRL 3	MRL 4	MRL 5	MRL 6	MRL 7	MRL 8	MRL 9	MRL 10				
D - Materials (Raw Materials, Components, Sub-assemblies and Sub-systems)	D.1 Maturity	New material properties and characteristics surveyed and identified for research (e.g., manufacturability, quality).	Potential effects of new material properties on design application manufacturability and quality predicted based on research.	Effects of new material properties on design concept manufacturability and quality validated using experiments and models.	New materials and components for preferred materiel solution demonstrated in a laboratory environment.	Materials manufactured or produced in a prototype environment (may be in a similar application/program). Maturation efforts in place to address new material production risks for technology demonstration.	Material maturity verified through technology demonstration articles. Preliminary material specifications in place. Material properties adequately characterized.	Material maturity sufficient for pilot line build. Material specifications approved.	Materials proven and validated during EMD as adequate to support LRIP. Material specifications stable.	Materials controlled to specifications in LRIP. Materials proven and validated as adequate to support FRP.	Materials controlled to specifications in FRP.				
	D.2 Availability	Global trends for material availability, obsolescence, and DMSMS surveyed and identified for research.	Material availability, obsolescence, and DMSMS gaps identified.	Material availability, obsolescence, and DMSMS gap closure strategy defined.	Projected lead times identified for all difficult to obtain, difficult to process, or hazardous materials. Quantities and lead times estimated. Material availability risks and issues for preferred materiel solution considered in AoA. Mitigation plans incorporated in SEP for the preferred materiel solution.	Availability risks and issues addressed for prototype build. Significant material risks identified for all materials. Planning initiated to address scale-up issues.	Availability risks and issues addressed to meet EMD build. Long-lead items identified. Potential obsolescence issues identified. Components assessed for future DMSMS risk.	Availability risks and issues addressed to meet LRIP builds. Long lead procurements identified and mitigated. Obsolescence plan in place. DMSMS mitigation strategies for components in place.	Availability risks and issues managed for LRIP. Long lead procurement initiated for LRIP. Availability issues addressed to meet FRP builds.	Long lead procurement initiated for FRP. Availability risks and issues managed for FRP.	All material availability risks and issues managed.				
	D.3 Supply Chain Management	Global trends for supply chain capability and capacity surveyed.	Potential supply chain capability and capacity gaps identified.	Supply chain capability and capacity gap closure strategies defined.	Survey of potential supply chain sources for preferred materiel solution completed. Supply chain capability and capacity analyses considered in the AoA.	Potential supply chain sources identified and evaluated as able to support prototype build.	Lifecycle Supply Chain requirements updated. Critical suppliers list updated. Supply chain plans in place (e.g. teaming agreements, etc.) supporting an EMD contract award.	Effective supply chain management processes defined, documented, and in place. Plan developed for predictive indicators. Assessment of critical first tier supply chain completed (i.e., capability, capacity, etc.).	Assessment of critical second and lower tier supply chain completed. Robust requirements flow down processes in place and verified. Supplier compliance with program requirements and changes validated. Plan for predictive indicators for use in production updated. Supply chain adequate to support LRIP.	Long term agreements in place where practical. Prime's supplier management metrics (including thresholds and goals) in place and used to manage risks. Predictive indicators to manage suppliers in place. Supply chain is stable and adequate to support FRP.	Supply chain proven and supports FRP requirements.				
	D.4 Special Handling (FP, shelf life, security, hazardous materials, storage environment, ESH, etc.)	Hazardous materials identified and safety procedures in place.	Raw materials and components assessed for special handling and potential regulatory requirements.	ESH compliance risk identified. List of hazardous materials identified and alternatives evaluated. Special handling procedures applied in the lab.	ESH compliance risk mitigated in lab environment. List of hazardous materials updated and alternatives assessed. Special handling procedures applied and disposal procedures evaluated. Special handling	ESH requirements and special handling procedures applied in production relevant environment. Special handling requirement gaps identified. New special handling processes demonstrated in lab	ESH requirements addressed and documented. Special handling procedures demonstrated in production relevant environment. Plans to address special handling requirement gaps, risks, and issues complete. Manufacturing assessed for material storage and waste	ESH compliance demonstrated in production representative environment. Special handling procedures applied in production representative environment. Special handling procedures developed and annotated on work instructions for pilot line. Hazardous material	ESH compliance demonstrated in pilot line production. Special handling procedures applied in pilot line environment and demonstrated in EMD or technology insertion programs. Special handling risks and issues managed for LRIP. All work instructions contain special handling provisions as	ESH compliance demonstrated in LRIP. Special handling, and hazardous material storage and disposal procedures demonstrated in LRIP environment. Special handling, and hazardous material storage and disposal risks	ESH compliance demonstrated in FRP. Special handling and hazardous material storage and disposal procedures effectively implemented in FRP.				

Acquisition Phase		Pre-Materiel Development Decision (Pre-MDD)			Materiel Solution Analysis (MSA)	Technology Maturation and Risk Reduction (TMRR)			Engineering & Manufacturing Development (EMD)		Low-Rate Initial Production (LRIP)	Full-Rate Production (FRP)		
Technical Reviews				MDD	ASR	A	SRR/SFR	PDR	B	CDR	PRR/SVR	C	PCA	FRP
Thread	Sub-Thread	MRL 1	MRL 2	MRL 3	MRL 4	MRL 5	MRL 6	MRL 7	MRL 8	MRL 9	MRL 10			
E - Process Capability & Control	E.1 Modeling & Simulation (Product & Process)	Modeling and simulation approaches/tools identified to support manufacturing and quality activities.	Modeling and simulation development initiated.	Manufacturing and quality gaps for system concepts identified using modeling and simulation.	Modeling and simulation tools utilized to define manufacturing and quality requirements for preferred materiel solution. Modeling and simulation results considered in the AoA.	Initial modeling & simulations (product or process) developed at the component level and used to determine constraints.	Initial modeling & simulations developed at the sub-system or system level, and used to determine system constraints.	Modeling & simulations used to determine system constraints and to identify improvement opportunities.	Modeling & simulations verified by pilot line build. Results used to improve process and demonstrate that LRIP requirements can be met.	Modeling & simulations verified by LRIP build, assist in management of LRIP, and demonstrate that FRP requirements can be met.	Modeling & simulations verified by FRP build. Production simulation models used as tools to assist in management of FRP.			
	E.2 Manufacturing Process Maturity	Hypotheses developed regarding cause-effect relationships between process variables and process stability and repeatability.	Studies performed to test hypotheses regarding cause-effect relationships. Initial process approaches identified.	Cause-effect relationships between process control variables and process stability and repeatability validated through laboratory experiments. Critical process control variables identified.	Maturity of critical processes for preferred materiel solution assessed. Process capability requirements and improvement plans developed and documented in the SEP.	Process Maturity assessed on similar processes in production. Process capability requirements identified for pilot line, LRIP and FRP.	Manufacturing processes demonstrated in production relevant environment. Collection or estimation of process capability data from prototype build and refinement of process capability requirements initiated.	Manufacturing processes demonstrated in a production representative environment. Collection and/or estimation of process capability data and refinement of process capability requirements ongoing.	Manufacturing processes for LRIP verified on a pilot line. Process Capability data from pilot line meets target. Process capability requirements for LRIP and FRP refined based upon pilot line data.	Manufacturing processes are stable, adequately controlled, capable, and have achieved program LRIP objectives. Variability experiments conducted to show FRP impact and potential for continuous improvement.	Manufacturing processes are stable, adequately controlled, capable, and have achieved program FRP objectives.			
	E.3 Process Yields and Rates	Hypotheses developed regarding future state manufacturing yields and rates.	Studies performed to test hypotheses regarding yields and rates.	Initial estimates of yields and rates for system concepts identified through laboratory. Yield and rate gaps for system concepts identified.	Yield and rate assessments on preferred materiel solution completed and considered in the AoA. Yield and rate gap closure strategies identified for the preferred materiel solution and documented in the SEP.	Target yields and rates established for pilot line, LRIP, and FRP. Yield and rate issues identified. Improvement plans developed/initiated.	Yields and rates from production relevant environment evaluated against targets and the results feed improvement plan.	Yields and rates from production representative environment evaluated against pilot line targets and the results feed improvement plans.	Pilot line targets achieved. Yields and rates required to begin LRIP refined using pilot line results. Improvement plans ongoing and updated.	LRIP yield and rate targets achieved. Yields and rates required to begin FRP refined using LRIP results. Yield improvements ongoing.	FRP yield and rate targets achieved. Yield improvements ongoing.			

Fuente Department of Defense, 2020