



Potencial de aplicación de la Agricultura 4.0 para la producción piña en Santander

Modalidad: Monografía Teórica

Angie Vanessa Cáceres Salas.

CC: 1039473911

Nicole Stephannie García Ardila

CC: 1005150667

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad a la que pertenece el programa académico
Tecnología en Producción Industrial
Bucaramanga y fecha (13/04/2022)



Potencial de aplicación de la Agricultura 4.0 para la producción piña en Santander

Monografía Teórica

Angie Vanessa Cáceres Salas.

CC: 1039473911

Nicole Stephannie García Ardila

CC: 1005150667

Trabajo de Grado para optar al título de Tecnólogo en Producción Industrial

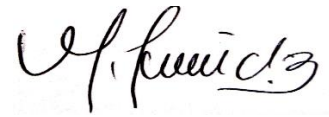
DIRECTOR

Fabio Adolfo Velasco Sossa

Grupo de investigación – SOLYDO

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad a la que pertenece el programa académico
Tecnología en Producción Industrial
Bucaramanga y fecha (13/abril/2022)

Nota de Aceptación



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre María Salas y a mi padre Luis Cáceres y mis hermanos, quienes fueron mis pilares fundamentales y gracias al esfuerzo diario de ellos para ayudarme a salir adelante también Dedico mi proyecto a mi esposo Pablo Javier Alzate quien fue el que siempre estuvo de mi mano acompañándome en este gran logro.

Angie Vanessa Cáceres Salas

Este proyecto va dedicado a mi madre Jeimy Ardila, mi padre Fredy García, mis abuelas y mi hermano, los cuales son la causa principal para buscar crecer como profesional y por siempre estar presente apoyándome y alentándome en todo momento para lograr cumplir este objetivo.

Nicole Stephannie García Ardilla

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecido con Dios por permitirme terminar mis estudios en esta excelente universidad también agradecido con cada uno de los docentes de mi carrera que me brindaron su mayor conocimiento y una formación como tecnóloga.

Angie Vanessa Cáceres Salas

Principalmente a los docentes que se empeñaron en ofrecer sus conocimientos para poder terminar mi tecnología y a Dios por lograr este meta y terminar mis estudios.

Nicole Stephannie García Ardilla

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	16
2. MARCO REFERENCIAL	24
2.1. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1.1. INDUSTRIA 4.0	24
2.1.2. PIÑA.....	26
2.2. MARCO CONCEPTUAL	28
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION	32
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	34
4.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE CULTIVO DE PIÑA	34
4.2. ESTABLECIMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0 APLICABLES.....	36
4.3. DIFICULTADES DE LA AGRICULTURA 4.0 EN SANTANDER PARA LA PIÑA... 38	
4.4. PROPONER UN ESQUEMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA AGRICULTURA 4.0 PARA LA PIÑA	39
5. RESULTADOS.....	41
5.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE CULTIVO DE LA PIÑA.....	41
5.1.1. GENERALIDADES DEL PROCESO.....	41
5.1.2. ETAPAS DE PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PIÑA EN SANTANDER	42
5.2. TECNOLOGÍAS IDENTIFICADAS PARA EL CULTIVO DE PIÑA HACIA LA I4.0.50	
5.2.1. INTERNET DE LAS COSAS.....	50

5.2.2.	ROBÓTICA Y SISTEMAS AUTÓNOMOS	52
5.2.3.	INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	54
5.2.4.	ANÁLISIS DE BIG DATA.....	56
5.2.5.	BLOCKCHAIN.....	57
5.3.	DIFICULTADES PRESENTES EN LOS PROCESOS DE ADAPTACIÓN A LA AGRICULTURA 4.0 PARA PRODUCCIÓN DE PIÑA.....	59
5.3.1.	DIFICULTADES DE IMPLEMENTACIÓN	59
5.3.2.	DIFICULTADES ORGANIZACIONALES	62
5.3.3.	DESAFÍOS SOCIALES	63
5.3.4.	RETOS TECNOLÓGICOS.....	64
5.4.	PROPUESTA PARA DESARROLLO DE AGRICULTURA 4.0 PARA LA PIÑA.....	67
6.	<u>CONCLUSIONES.....</u>	72
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	75
8.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interdependencias de una cadena de suministros Industria 4.0.....	31
Figura 2. Preparación de Terreno de piña	43
Figura 3. Siembra por Corona de Piña	44
Figura 4. Fertilización por Aspersión.....	45
Figura 5. Fertilizantes en la Base de la Planta	46
Figura 6. Red Integrada Espacio-Aire-Tierra-Subsuperficie.....	51
Figura 7. Robótica y Sistemas Autónomos	53
Figura 8. Aplicaciones Clave de la Inteligencia Artificial y el Big Data en Agricultura	55
Figura 9. Estrategia de Producción de Piña IoT para la Piña.....	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Proceso de Cultivo de Piña	34
Tabla 2. Tecnologías I4.0 en Agricultura	36
Tabla 3. Identificación de Dificultades de Implementación de Agricultura 4.0 en Santander	38
Tabla 4. Implementación de Agricultura 4.0 en la Producción de Piña	39

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo tuvo como objetivo realizar una identificación del potencial de desarrollo para la implementación de tecnologías 4.0 al proceso de producción de piña para Santander. El trabajo dio inicio con el establecimiento de las etapas del proceso de producción de piña en Santander, esto con el fin de establecer los procedimientos que se aplican actualmente al cultivo; posteriormente se desarrolló una búsqueda documental que tuvo como objetivo, reconocer las tecnologías que se aplican en el proceso de producción de piña, basadas en la industria 4.0; como paso siguiente se realizó una revisión de los aspectos que podrían afectar el proceso de migración tecnológica hacia la Industria 4.0 para Santander en el proceso de producción de piña; finalmente, se elaboró un esquema para establecer la mejora del proceso de producción de piña al llevarlos hacia la industria 4.0.

Como parte de los resultados del trabajo, se pudo establecer que las principales tecnologías para la implementación de Agricultura 4.0 son: Internet de las Cosas, Robótica y Sistemas Autónomos, Inteligencia Artificial, Análisis Big Data, Sistemas Expertos Móviles, Sistemas Predictivos y el Blockchain; como parte de las dificultades se destaca condiciones ambientales, la mentalidad de los cultivadores, los costos de implementación, requisitos técnicos, aceptación, automatización de procesos, complejidad del software, falta de conectividad en la zonas rurales y el potencial de procesamiento de los equipos de cómputo.

PALABRAS CLAVE. Etapas de la producción de piña, tecnologías aplicadas a la producción de piña, tecnologías 4.0 para la piña.

INTRODUCCIÓN

Las tres revoluciones industriales anteriores, transformaron profundamente la industria agrícola, al pasar de la agricultura artesanal y de labranza manual a la agricultura mecanizada y posteriormente a la agricultura de precisión reciente (Fernández, 2017). El paradigma de la agricultura industrial mejora en gran medida la productividad, pero gradualmente han surgido una serie de desafíos, que se han exacerbado en los últimos años. Se espera que la Industria 4.0 remodele la industria agrícola una vez más y promueva la cuarta revolución agrícola (Rodríguez, 2020).

Los avances tecnológicos de la industria 4.0 han logrado mejorar los procesos de producción agrícola industrializada y la cadena de suministro agroalimentario, esto a través de cinco tecnologías emergentes que son el Internet de las Cosas, robótica, Inteligencia Artificial, análisis de big data y blockchain (Bajar & Jove, 2020). Lo que hace importante dirigir esfuerzos a potenciales procesos de migración hacia la mejora con la Agricultura 4.0 en Colombia, pues al contar con procesos de producción que no se encuentran tecnológicamente desarrollados, será más complicado competir con mercados internacionales que ya cuentan con estas tecnologías.

La producción de piña es un renglón importante para la economía nacional, esto debido a su crecimiento en producción en las diferentes zonas del país. Según un informe del Ministerio de Agricultura (2019), la producción de piña se aproxima a 1.174.995 toneladas, en un área de producción de 32.700 hectáreas sembradas en variedades como la MD2 (Oro Miel), cayena lisa y perolera. Adicionalmente, las zonas con mayor producción son los Santanderes con el 38%, seguido por los llanos

con el 22%, la zona centro con el 21% y el caribe con el 7% (Minagricultura, 2019). Al hablar de Santander, la región con mayor reconocimiento de producción de piña es el municipio de Lebrija, esto debido a la calidad y el sabor de la piña, que es de gran reconocimiento a nivel nacional e internacional (Acevedo et al., 2020)

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por las características fértiles del suelo en Colombia se cuenta con ventajas para la producción agrícola (Acevedo et al., 2020). Infortunadamente, los pequeños cultivadores de piña en Santander se encuentran en desventaja competitiva por la falta de implementación tecnológica, esto en comparación a los sistemas de producción a escala agroindustrial, como expuso Ruíz & Aviléz (2021). La industria 4.0 ha evolucionado en todos los campos de la industria y ha mostrado un impacto benéfico a pesar de las dificultades en la migración tecnológica (Reyes et al., 2018). Investigadores como Tabarés (2019) argumentan que el uso de las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TIC), de la mano con procesos de producción automatizados, controlados y monitoreados con dispositivos electrónicos de manera segura, se ve como un futuro prometedor para la producción de piña en la región, al realizar una mejora del proceso de producción, hacia un potencial modelo de agricultura 4.0, debido a que con las tecnologías aplicadas en la industria 4.0, se logrará una piña de mejor calidad y sabor, que sea más competitiva con potencial ingreso a mercados internacionales, que beneficiarán a los pequeños productores y mejorará sus ingresos y calidad de vida futuro.

Al tener en cuenta los inconvenientes expuestos se genera la pregunta de investigación base para este trabajo de grado. ¿Qué esquema teórico se podría proponer para la implementación de las tecnologías asociadas a la industria 4.0 para producción de piña en Santander?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este trabajo, representa una oportunidad de realizar un proceso de investigación documental, que permita identificar qué tecnologías y potenciales estrategias, lograrían mejorar el proceso de producción de piña para los cultivadores de Santander, al buscar una metodología que mejore los procesos artesanales actuales (Camacaro & Paredes, 2021), esto, como parte de un aporte tecnológico para proyectos posteriores y de beneficio para el pequeño cultivador. De igual forma, permitirá la identificación de los factores que actualmente impiden el proceso de migración tecnológica y posibles herramientas para revertir esta situación (Saa,2021). Adicionalmente, el aporte social, económico y ambiental de este proyecto se verá reflejado, al proponer un sistema de producción de piña, que sea eficiente y que haga un mejor uso de los recursos disponibles, con generación de menos residuos, lo que representará mejores ganancias con un mayor volumen de ventas, menor impacto ambiental y un producto de mayor calidad (Giraldo, 2020).

Adicionalmente, el desarrollo de esta monografía permitirá aportar a los procesos investigativos relacionados con el grupo de investigación SOLYDO de las Unidades Tecnológicas de Santander, para el apoyo a los procesos de las líneas de investigación en Desarrollo Organizacional, Ingeniería de Producción, procesos y operación, que logren generar soluciones que ayuden a la región y el país. Además, el desarrollo del documento digital que presentará los resultados de este proyecto será una base, que podrá ser utilizada como base teórica y conceptual para posteriores procesos de potenciales desarrollos tecnológicos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un esquema de aplicación de las tecnologías asociadas a la industria 4.0 al proceso de producción de piña para Santander, mediante una revisión documental que sea la base de un proyecto de implementación a futuro.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las etapas asociadas al proceso de producción de piña en Santander mediante una revisión literaria, al tomar como base trabajos o proyectos desarrollados en la región.

Caracterizar las tecnologías de la industria 4.0 que se aplican actualmente al proceso de producción en agricultura, de manera que se establezca cuáles se pueden aplicar al proceso de producción de piña en Santander, mediante la literatura disponible.

Describir las posibles dificultades que tendría la implementación de la agricultura 4.0 en Santander en el proceso de producción de piña, y su potencial impacto al ser implementada, a partir de una revisión bibliográfica.

Proponer un esquema teórico conceptual de la implementación de la agricultura 4.0 al proceso de producción de la piña, para un potencial modelo en Santander, con base en las tecnologías identificadas para una implementación a futuro.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Para lograr un entendimiento base de la industria 4.0 aplicada a la agricultura, se desarrolló una revisión de la literatura disponible, mediante trabajos y artículos nacionales e internacionales, de manera que se estableciera un panorama del tema base de esta investigación.

Trabajos Internacionales

La inversión en investigación tecnológica es imprescindible para estimular el desarrollo de soluciones sostenibles para el sector agrícola, como mostró este artículo realizado por Oleiro et al. (2021). Los avances en Internet de las Cosas, sensores y redes de sensores, robótica, inteligencia artificial, big data, cloud computing, fomentan la transición hacia la era de la Agricultura 4.0. Esta cuarta revolución se ve actualmente como una posible solución para mejorar el crecimiento agrícola, lo que asegurará las necesidades futuras de la población mundial de una manera justa, resiliente y sostenible. En este contexto, este artículo pretende caracterizar el panorama actual de la Agricultura 4.0. Las tendencias emergentes se compilaron mediante un proceso semiautomatizado mediante el análisis de publicaciones científicas relevantes publicadas en los últimos diez años. Posteriormente, se realizó una revisión de la literatura centrada en estas tendencias, con un énfasis particular en sus aplicaciones en entornos reales. A partir de los resultados del estudio, se discuten algunos desafíos, así como oportunidades para futuras investigaciones. Finalmente, se presenta una arquitectura de IoT basada en la nube de alto nivel, que sirve como base para diseñar futuros sistemas agrícolas inteligentes. Se espera que este trabajo tenga un impacto positivo en la investigación en torno a los sistemas de Agricultura 4.0, al proporcionar una

caracterización clara del concepto junto con directrices para ayudar a los actores en una transición exitosa hacia la digitalización del sector.

Hay un rápido aumento en la adopción de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), Internet de las Cosas Subterráneas (IoUT) y Análisis de datos en el dominio de la agricultura para satisfacer la creciente demanda de alimentos y así, atender a la creciente población. La agricultura 4.0 ha revolucionado la productividad agrícola mediante el uso de la agricultura de precisión (AP), IoT, UAV, IoUT y otras tecnologías para aumentar los productos agrícolas para la demografía en crecimiento, al tiempo que aborda varios problemas relacionados con la granja. Mediante el desarrollo de una revisión documental, los investigadores Raj et al., (2021) proporcionaron una visión general completa de cómo se pueden usar múltiples tecnologías como IoT, UAV, IoUT, Análisis Big Data , Técnicas de Aprendizaje Profundo y Métodos de Aprendizaje Automático para administrar diversas operaciones relacionadas con la granja. Para cada una de estas tecnologías, se realiza una revisión detallada sobre cómo se está utilizando la tecnología en la Agricultura 4.0.

Para investigadores como Silva et al. (2020), el uso de datos digitales es una de las principales características de la era de la Agricultura 4.0. Se pueden utilizar diferentes dispositivos y sensores para capturar una variedad de tipos de datos que permiten el desarrollo de aplicaciones de visión por computadora, eventos acústicos y procesamiento de datos. Estas aplicaciones son útiles para monitorear, comprender y predecir muchos atributos de la producción de la cadena agrícola con el objetivo de ayudar a los agricultores en el proceso de toma de decisiones. En un escenario de creciente obligación de uso sostenible de los recursos naturales y aumento de las tasas de producción para asegurar una situación de seguridad alimentaria en el mundo, existe una gran demanda de mejoras en cualquier etapa de los procesos agrícolas. Este documento tuvo como objeto contribuir a una mayor

investigación sobre la inteligencia artificial en el contexto agrícola, al enumerar escenarios prácticos de IA de muestra, incluidos los escenarios con los que el Instituto de Investigación El Dorado ha contribuido. A lo largo de este trabajo, se discutieron diferentes aplicaciones de la IA, al destacar algunas características, ventajas, desventajas y resultados para proporcionar una visión general de las diferentes tecnologías que se pueden aplicar en la agricultura. Además, presentó los principales desafíos de popularizar el uso de sistemas basados en IA, algunos enfoques posibles para reducir las dificultades y una visión de las próximas tecnologías más prometedoras junto con la IA.

Sin lugar a dudas, las altas demandas de alimentos de la creciente población mundial afectan el medio ambiente y ejerce muchas presiones sobre la productividad agrícola. La agricultura 4.0, como cuarta evolución de la tecnología agrícola, plantea cuatro requisitos esenciales: aumentar la productividad, asignar recursos razonablemente, adaptarse al cambio climático y evitar el desperdicio de alimentos. A medida que se adoptan sistemas de información avanzados y tecnologías de Internet en agricultura 4.0, se pueden recopilar, analizar y procesar enormes datos agrícolas, como información meteorológica, condiciones del suelo, demandas de comercialización y usos de la tierra, para ayudar a los agricultores a tomar decisiones apropiadas y obtener mayores ganancias. Por lo tanto, los sistemas de apoyo a la decisión agrícola para la agricultura 4.0 se han convertido en un tema muy atractivo para la comunidad investigadora. En este trabajo desarrollado por Zhi et al. (2020) se exploraron los próximos desafíos del empleo de sistemas de soporte de decisiones agrícolas en la agricultura 4.0, al analizar trece sistemas representativos de apoyo a la toma de decisiones, incluidas sus aplicaciones para la planificación de misiones agrícolas, la gestión de los recursos hídricos, la adaptación al cambio climático y el control del desperdicio de alimentos. Cada sistema de apoyo a la decisión se analizó de manera sistemática. Se realizó una evaluación exhaustiva desde los aspectos de interoperabilidad, escalabilidad,

accesibilidad, usabilidad, etc. Con base en la revisión y los resultados de la evaluación, se presenta un resumen de los próximos desafíos, se sugieren las tendencias de desarrollo y se muestran posibles mejoras para futuras investigaciones.

Al buscar como temática la producción de piña con herramientas tecnológicas 4.0, se han desarrollado pocos trabajos en este ámbito, pero el trabajo investigativo de Rahutomo et al. (2019), presentó que el sector hortícola de Indonesia ganará la capacidad de abordar los problemas agrícolas tradicionales mediante la adopción de la tecnología Agrícola 4.0. Como pilar de la Revolución Industrial 4.0, la Inteligencia Artificial (IA) puede proporcionar los beneficios de la eficiencia del tiempo y minimizar el error humano en comparación con los métodos tradicionales. La investigación utilizó el método de crowdsourcing como un enfoque bien establecido en la colaboración de recopilación de datos, en el que se convoca a grandes cantidades de público para aportar ideas e información. Python y Flask también se utilizan en la investigación para el desarrollo de aplicaciones basadas en la web, Keras-RetinaNet para modelos de entrenamiento de IA y Web Server Gateway Interface (WSGI) para la implementación de modelos de IA. Esta investigación dio como resultado una aplicación de IA basada en la web que se puede utilizar para contar objetos de piña en un área muy amplia mediante el uso de cientos de fotografías aéreas como conjunto de datos de entrenamiento. La precisión del conteo de objetos de piña con la utilización del modelo de IA optimizará el uso de recursos como agua, fertilizantes, insecticidas y materiales de embalaje.

Klerkx et al. (2019) presentó una revisión de la agricultura 4.0, agricultura inteligente y la agricultura digital, de manera que se analizan las contribuciones para las investigaciones a futuro. Si bien hay mucha literatura desde una perspectiva de ciencias naturales o técnicas sobre diferentes formas de digitalización en la agricultura (big data, internet de las cosas, realidad aumentada, robótica, sensores,

impresión 3D, integración de sistemas, conectividad ubicua, inteligencia artificial, gemelos digitales y blockchain, entre otros), los investigadores de ciencias sociales han comenzado recientemente a investigar diferentes aspectos de la agricultura digital en relación con los sistemas de producción agrícola, cadenas de valor y sistemas alimentarios. Esto ha llevado a una floreciente identificación que es un área poco explorada, basada en la perspectiva de literatura de ciencias sociales. Por lo tanto, hay una falta de visión general de cómo se ha desarrollado este campo de estudio, y qué son los temas y temas establecidos, emergentes y nuevos. Aquí es donde este artículo pretendió hacer una contribución, con diecisiete artículos que tratan sobre las dinámicas sociales, económicas e institucionales de la agricultura de precisión, la agricultura digital, la agricultura inteligente o la agricultura 4.0. Una revisión exploratoria de la literatura mostró que se pueden identificar cinco grupos temáticos de literatura existente en ciencias sociales sobre digitalización en la agricultura: 1) Adopción, usos y adaptación de tecnologías digitales en las fincas o granjas; 2) Efectos de la digitalización en la identidad del agricultor, las habilidades de los agricultores y el trabajo agrícola; 3) Poder, propiedad, privacidad y ética en la digitalización de los sistemas de producción agrícola y las cadenas de valor; 4) Sistemas de digitalización y conocimiento e innovación agrícola (AKIS); y 5) Economía y gestión de sistemas de producción agrícola digitalizados y cadenas de valor. Las principales contribuciones de los artículos se mapearon por grupos temáticos, lo que reveló nuevos conocimientos sobre el vínculo entre la agricultura digital y la diversidad agrícola, los nuevos acuerdos económicos, comerciales e institucionales tanto en los sitios de cultivo, en la cadena de valor y el sistema alimentario, como en el sistema de innovación, y las formas emergentes de gobernar éticamente la agricultura digital. Se identificaron líneas emergentes de investigación en ciencias sociales dentro de estos grupos temáticos y se sugirieron nuevas líneas para crear una futura agenda de investigación sobre agricultura digital, agricultura inteligente y agricultura 4.0. Además, también se identificaron cuatro nuevos grupos temáticos potenciales de ciencias sociales, que hasta ahora

parecen débilmente desarrollados: 1) Conceptualizaciones de sistemas socio-ciberfísico-ecológicos de agricultura digital; 2) Procesos de política agrícola digital; 3) Vías de transición agrícola habilitadas digitalmente; y 4) Geografía global del desarrollo de la agricultura digital. Esta futura agenda de investigación proporciona un amplio margen para la futura ciencia interdisciplinaria y transdisciplinaria sobre agricultura de precisión, agricultura digital, agricultura inteligente y agricultura 4.0.

Trabajos Nacionales

En nuestro país el desarrollo y adopción de la agricultura 4.0 se desarrolla de manera bastante lenta y es poca la literatura que se encuentra disponible bajo este nuevo enfoque tecnológico. La Agricultura de Precisión (AP) y la Agricultura 4.0 (A4.0) han sido ampliamente discutidas como un medio para abordar los desafíos relacionados con la producción agrícola. En esta investigación, desarrollada por Kremer et al. (2020), se presentó una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) apoyada en un Análisis Bibliométrico de Desempeño y Redes (ABDR), del uso de tecnologías A4.0 y técnicas de Agricultura de Precisión en el sector cafetero. Para realizar la RSL, se extrajeron 87 documentos publicados desde 2011 de las bases de datos Scopus y Web of Science y se procesaron a través del protocolo Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA). El ABDR se llevó a cabo para identificar los temas estratégicos en el campo de estudio. Los resultados presentan 23 clusters con diferentes niveles de desarrollo y madurez. También presentaron la estructura de red temática de las tecnologías A4.0 más utilizadas en el sector del café. Los hallazgos finales mostraron que el Internet de las Cosas, el Machine Learning y la geoestadística son las tecnologías más utilizadas en el sector del café, también presentaron los principales desafíos y tendencias relacionadas con la adopción tecnológica en los sistemas de café.

González (2020) llevó a cabo el desarrollo de un artículo que presentó investigaciones sobre el diseño y aplicación de un modelo que permite controlar variables y condiciones agroecológicas basadas en métodos inductivo-deductivos apoyados en herramientas de tipo cualitativo y de igual forma cuantitativo como metadatos, herramientas de tendencias y gráficos de comparación. Este modelo representa el conocimiento del agricultor en un tipo diferente de aplicaciones que permite el progreso continuo de la agricultura. El modelo ha sido probado con algunas especies agrícolas, vegetales y animales en ambientes controlados en ambientes reales, donde se puede medir la calidad de las especies cultivadas para determinar mejoras en la calidad nutricional, esta medida se realiza mediante sensores de temperatura, pH, luminosidad y humedad, de forma que se diseñó un modelo matemático que permite la simulación de las variables que se quieren controlar, estas incluyen tiempos de monitoreo y control. Posteriormente, se asociaron conceptos de agricultura 4.0, para mitigar el riesgo en diferentes entornos.

Al tomar en cuenta los procesos de globalización de la tecnología y que las necesidades alimentarias crecen a la par del crecimiento de la población mundial, países como Colombia presentan grandes ventajas y oportunidades por sus características climáticas y tierras fértiles. Debido a las necesidades de innovación del productor y todos los requerimientos de altos estándares de calidad por parte de los consumidores finales, este trabajo, realizado por Vargas (2021) presentó una investigación encaminada a determinar las factibilidades comerciales del café orgánico bajo técnicas y medios virtuales de la agricultura 4.0 para el café colombiano. Los resultados mostraron que si se desarrollan temáticas en las que se planifique, implemente y evalúe de forma adecuada es posible una migración paulatina para la agricultura 4.0 hacia el café; si las empresas se quieren mantener competitivas, requieren evolucionar y actualizar sus herramientas tecnológicas y desarrollar procesos de investigación sobre las nuevas tendencias de las actuales

y mejoradas formas de producción. En cuanto a la adopción de procesos de la agricultura 4.0 aplicados a producción de café orgánico es factible pero es necesario adquirir los medios, conocimientos y herramientas para dar el salto en evolución de producción.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. *Industria 4.0*

La industria es la parte de una economía que produce bienes materiales que están altamente mecanizados y automatizados. Desde el comienzo de la industrialización, los saltos tecnológicos han establecido cambios de paradigma que, a hoy son denominadas "revoluciones industriales" (Lasi et al., 2014). En el campo de la mecanización (la llamada revolución industrial), la que tuvo como base el uso de energía eléctrica (la llamada segunda revolución industrial), y de la digitalización generalizada (la llamada tercera revolución industrial) (Lu, 2017). Sobre la base de una digitalización avanzada dentro de las fábricas, la combinación de tecnologías como el Internet y tecnologías orientadas al futuro en el campo de los objetos inteligentes (máquinas y productos), se dio lugar a un nuevo cambio fundamental en la producción industrial (Bartodziej, 2016). La visión del futuro de la producción contiene sistemas de fabricación modulares que son altamente eficientes y caracteriza escenarios en los que los productos controlan su propio proceso de fabricación, el proceso de fabricación de productos se realiza de forma individual, mediante procesos por lotes en los cuales se mantienen las condiciones económicas de la producción en masa (Koch et al., 2010).

Dentro del terreno de la Industria 4.0 hay una enorme cantidad de aplicaciones para esta revolución, que induce una necesidad notable para la realización de cambios debido a variaciones metodológicas y procedimentales que se necesitarán en los procesos de operación. Al entrar en esta revolución, los cambios serán de tipo social, económico y político (Lasi,2012). Mas específicamente se verán reflejados por:

Cortos períodos de desarrollo: Períodos de desarrollo y periodos de innovación se verán en la necesidad de acortarse. Alto nivel de innovación, capacidad se está convirtiendo en un factor de éxito esencial para muchas empresas.

Individualización bajo demanda: El mercado ha realizado un cambio radical, donde se cambia de vendedor a comprador de mercado, lo que se ha hecho evidente en las últimas décadas, esto significa que los compradores pueden definir las condiciones del comercio. Esta tendencia conduce a un aumento en la individualización de los productos y en casos extremos a productos individuales. Esto también se llama "tamaño de lote uno".

Flexibilidad: Debido a los nuevos requisitos del marco de la industria 4.0, se hace necesario una mayor flexibilidad en el desarrollo de productos, especialmente en producción se hace muy necesario.

Descentralización: Para hacer frente a las nuevas condiciones, que se hacen más específicas y deben ser rápidas, para esto son necesarios procedimientos de toma de decisiones más rápidos. Donde las jerarquías organizativas necesitan reducirse. Por otro lado, existe un impulso tecnológico excepcional en la práctica en la industria. Este impulso tecnológico ya ha influido en la rutina diaria en áreas privadas. Áreas como la Web 2.0, aplicaciones, smartphones, portátiles, impresoras 3D, etc. Sin embargo, en lo relevante al trabajo, especialmente en contextos industriales, las tecnologías innovadoras no están ampliamente difundidas (Rojko, 2017). Por lo tanto, los enfoques extensos necesarios se ven de la siguiente manera:

Aumentar aún más la mecanización y automatización: En el proceso de trabajo se hace uso de más ayudas técnicas, que apoyan el trabajo físico. Además, las soluciones automáticas adoptarán la ejecución de operaciones versátiles, componentes operativos, positivos y analíticos, tales como células de fabricación que controlan y optimizan de forma independiente la fabricación en varios pasos.

Digitalización y redes: La creciente digitalización de todas las manufacturas y soportes de las herramientas de fabricación, ha dado lugar al registro de una cantidad cada vez mayor de acciones y datos tomados por sensores que pueden soportar funciones de control y análisis. La digitalización de procesos ha evolucionado como resultado del aumento de la red de componentes técnicos y en conjunto, con el aumento de la digitalización de bienes y servicios producidos, que se convierten a su vez en fuerzas impulsoras para nuevas tecnologías como la simulación, la protección digital o la capacidad que presenta la realidad virtual aumentada.

Miniaturización: Simultáneamente, existe una tendencia hacia la miniaturización. Si bien las computadoras requerían grandes espacios décadas atrás, hoy en día los dispositivos con un rendimiento comparable o incluso considerablemente mejor pueden ser instalados en pocos centímetros cúbicos. Esto permite nuevos campos de aplicación, especialmente en el contexto de la producción y logística.

El término Industria 4.0 se refiere colectivamente a una amplia gama de conceptos actuales, cuya clara clasificación hacia una relativa disciplina, así como su distinción precisa no es posible en casos individuales (Pereira & Romero, 2017).

2.1.2. Piña

La piña (*Ananas comosus*) es una fruta tropical que se disfruta mucho por su aroma único y sabor dulce. Es conocida como una fruta sabrosa ya que contiene una serie de compuestos volátiles en pequeñas cantidades y mezclas complejas. La piña también es una rica fuente de minerales y vitaminas que ofrecen una serie de beneficios para la salud (Anahui, 2019). En tercer lugar, detrás del banano y los cítricos, la demanda de piña ha aumentado considerablemente dentro del mercado internacional. El crecimiento de la industria de la piña en la utilización de productos de procesamiento de alimentos a base de piña, así como el procesamiento de residuos, ha progresado rápidamente en todo el mundo (Alboleda, 2019).

Fisiología y características de la piña

La piña es una fruta exótica que es muy valorada por su aroma, sabor y jugosidad. Hasta la fecha, hay muchas variedades de piña con varios colores, formas, tamaños y sabores. La piña es de un tamaño bastante mediano en comparación con otras frutas tropicales que consisten en múltiples frutos con un patrón de maduración distintivo desde la parte superior cerca de la corona hasta la parte inferior de la fruta (Montero et al., 2010). Al tener en cuenta el hecho de que la piña es una fruta no ormacétrica, la calidad de la fruta cambia y no es uniforme en diferentes niveles de madurez. Por lo general, los indicadores de madurez de la piña se evalúan en función de los atributos físicos, fisicoquímicos y químicos de la fruta con características de sabor y morfológicas aceptables (Nadzirah et al., 2013). Aparte de las diferencias varietales y la madurez, etapas, la calidad y la vida útil de la piña está fuertemente influenciada por el manejo y la gestión poscosecha (MPIB, 2020). En términos de manejo poscosecha del procesamiento de residuos de piña, la utilización de los residuos de fruta es sustancialmente alta, especialmente en el mercado minorista. Por lo tanto, existe la urgencia de abordar el problema de los usos potenciales de los desechos de piña, además de la utilización de la carne o pulpa de la fruta. En general, se espera que el árbol de piña dé frutos dentro de los

15 meses o hasta dos años después de la siembra (Hossain, 2016). Los primeros tres meses después de la siembra es la etapa crítica para la floración y maduración de la fruta, ya que la planta se vuelve sensible a los factores climáticos, incluida la temperatura y la cobertura de nubes. El cultivo requiere temperaturas óptimas entre 20 °C y 30 °C con suficiente luz solar donde la precipitación es mayor y bien circulada para el crecimiento de la piña (Araya, 2018).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Agricultura de Precisión

Significa optimizar la calidad y cantidad de un producto agrícola, al minimizar el costo a través del uso de tecnologías más eficientes para reducir la variabilidad de un proceso específico, en forma ambientalmente limpia (Kiani & Seyyedabbasi, 2018). La agricultura de precisión es un enfoque moderno para la gestión agrícola que explota tecnologías de vanguardia para monitorear y optimizar los procesos de producción agrícola (Khanna & Kaur, 2019). El concepto de agricultura de precisión nació en los EE.UU. a principios de la década de 1990, donde la Cámara de Representantes (1997) lo define como "un sistema agrícola integrado basado en la información y la producción que está diseñado para aumentar a largo plazo, el sitio específico y toda la eficiencia, productividad y rentabilidad de la producción, al tiempo que se minimizan los impactos no deseados sobre la vida silvestre y el medio ambiente". Aunque es un concepto relativamente conocido, la agricultura de precisión todavía presenta una baja tasa de adopción según lo informado por encuestas académicas e informes profesionales (Dholu & Ghodinde, 2018).

Agricultura 4.0

La agricultura está experimentando una nueva revolución tecnológica apoyada por los responsables políticos de todo el mundo. Si bien las tecnologías inteligentes, como la Inteligencia Artificial, la robótica y el Internet de las Cosas, podrían desempeñar un papel importante en el logro de una mayor productividad y una mayor ecoeficiencia, los críticos han sugerido que la consideración de las implicaciones sociales se está dejando de lado.

Agricultura Inteligente

La agricultura inteligente emerge como concepto principal en Agroalimentación 4.0. Al integrar nuevos elementos tecnológicos impulsados por el paradigma de la Industria 4.0, la agricultura inteligente aborda objetivos agrícolas importantes como el ahorro de agua, la conservación del suelo, el límite de emisiones de carbono y el aumento de la productividad al hacer más con menos (Silveira, 2021). La nueva era agrícola tiene como objetivo armonizar y compartir mejores políticas y normas europeas locales para escalar las mejores prácticas y aplicaciones agrícolas. La agricultura inteligente ofrece la oportunidad a los agricultores, proveedores de tecnología y servicios, agencias de gobierno y otras partes interesadas afectadas (organizaciones financieras, inversores, comerciantes, etc.) compartir sus experiencias y preocupaciones en la optimización de la cadena de suministro agrícola con el respeto cercano de la sostenibilidad de la producción (Rose, 2018).

Fábrica Inteligente: Para Lucke et al., (2008), hace referencia la realización de procesos de fabricación completamente mediante sistemas totalmente equipados con sensores, actuadores y sistemas autónomos; fábricas bajo el uso de la "tecnología inteligente" relacionada con modelos holísticamente digitalizados de

productos y una aplicación de diversas tecnologías basadas en computación ubicua.

Sistemas ciberfísicos: Se presenta como la fusión de los sistemas físicos y el nivel digital. De esta forma se cubre el nivel de producción, así como que, de los productos, los sistemas emergen de tal forma que su representación física y digital no puede diferenciarse en una manera razonable. Un ejemplo se puede observar en el área de mantenimiento preventivo, con los parámetros del proceso, variables como el estrés, tiempo productivo, etc.) de distintos componentes mecánicos subyacentes a un sistema físico, se registran de modo que se pueda cuantificar el desgaste en forma digital. La condición real del sistema resulta del objeto físico y sus parámetros de proceso digital (Monostori et al., 2016).

Autoorganización: Los sistemas de fabricación existentes se están descentralizando cada vez más. Esto viene realizándose a lo largo del proceso con una descomposición de la jerarquía de producción clásica y un cambio hacia la autoorganización descentralizada (Damianov & Chukalov, 2016).

Nuevos sistemas de distribución y procesos de adquisición: La distribución y a la adquisición se han individualizado. Los procesos se majarán bajo el uso de canales diferentes y de forma individualizada (Lu, 2017).

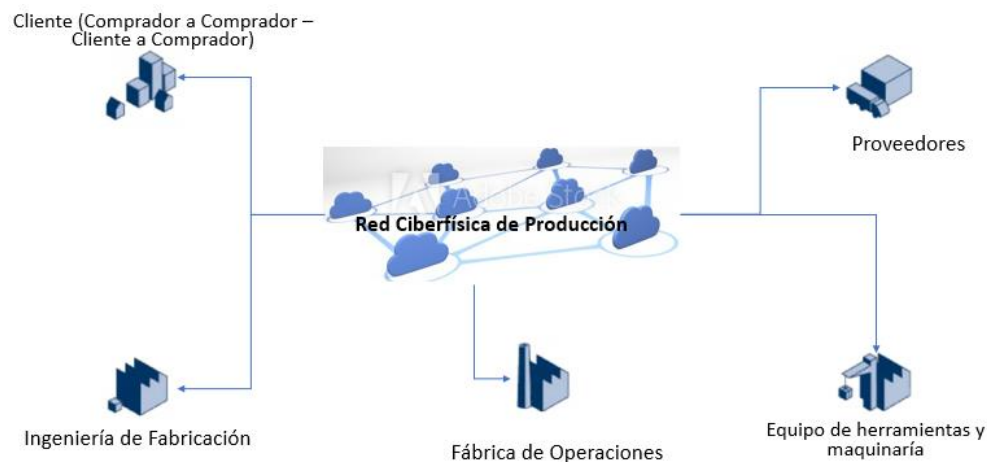
Nuevos sistemas en el desarrollo de productos y servicios: Producto y desarrollo de servicios de manera individual. En este contexto, los enfoques de innovación abierta e inteligencia de productos, así como la memoria del producto son de gran importancia (Kamarul et al., 2016).

Adaptación a las necesidades humanas: Los nuevos sistemas de fabricación deben diseñarse para seguir las necesidades humanas, de lo contrario,

será difícil el desarrollo y producción de elementos en un mercado fijado a satisfacer necesidades específicas y casi individuales (Nowakowski, y otros, 2018).

Responsabilidad Social Corporativa: La sostenibilidad y la eficiencia de los recursos son cada vez más guiadas hacia el enfoque del diseño de los procesos de fabricación industrial. Estos factores son fundamentales condiciones para tener éxito (Caputo, Paiano, & Foltynowicz, 2019).

Figura 1. Interdependencias de una cadena de suministros Industria 4.0



Fuente: (Geisberger & Broy, 2012)

En la Figura 1 se visualizan las consecuencias de una amplia integración de diferentes componentes en la cadena de suministro de la Industria 4.0. La producción ciberfísica en red de producción se caracteriza particularmente por acciones autónomas independientes de la ubicación, la integración generalizada de varios servicios automatizados y por su capacidad para reaccionar en contexto, específicamente a las necesidades y requisitos de los clientes, de modo que existan entre los diferentes protagonistas las prácticas informativas y la interdependencia.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Como parte del diseño de la investigación, al ser una monografía, se tuvo en cuenta que fue un proceso de investigación documental de la literatura disponible referente al proyecto, de manera que se empleó la herramienta de búsqueda Google Académico, con palabras como Proceso de producción de piña, producción de piña en Santander y producción de piña con industria 4.0, de forma que se pudiese establecer un parámetro de búsqueda con temas relacionados al proyecto. El rango de búsqueda fue de 2017 a 2022, esto con el fin de encontrar los avances y aplicaciones más recientes con respecto a la producción de la piña dirigida a la industria 4.0. Cabe resaltar que existen trabajos que se tomaron como base para el desarrollo del trabajo de grado, los cuales son de años anteriores, pero son muy pocos, la información se usó al ser identificada como material de importancia para el trabajo.

La investigación en su fase inicial fue exploratoria, pues se desconocía la cantidad de investigaciones que se habían desarrollado acerca del tema, es decir implementación de industria 4.0 al proceso de producción de la piña. Asimismo, la investigación fue de tipo descriptivo, al buscar exponer y explicar las características del cultivo de piña, describir de qué manera se podría lograr la implementación de I4.0 en este proceso y que tecnologías permitirían su potencial desarrollo en Santander, a partir de la revisión de distintos trabajos y proyectos desarrollados en el tema.

El método empleado para el desarrollo de este proyecto de grado fue deductivo, al tomar información general, organizarla, identificar la información relevante para el trabajo, y con esto llegar a información particular para el cumplimiento de los objetivos.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRESARIADO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CULTIVO DE PIÑA

Para realizar un proceso de descripción del cultivo de piña, se realizó una revisión documental para establecer cuáles son las etapas que conlleva el proceso de esta fruta. Como parte de los documentos consultados se revisaron trabajos como el realizado por (Guerrero, 2020), guías para realización de cultivos de piña (SENA, 2017), manuales e información del ministerio de agricultura como Cadena de la Piña (Minagricultura, 2019), esto con el fin de establecer pautas reales y bases concretas para la descripción del proceso. En la

Tabla 1 se presenta un resumen de los documentos consultados.

Tabla 1. Proceso de Cultivo de Piña

Proceso de Cultivo de Piña		
	Título	Autor
1	Oportunidad comercial de exportar cuero vegetal colombiano hecho de fibra de hoja de piña hacia Italia	Guerrero (2020)
2	Estrategias y desarrollo de la exportación de la piña Oro Miel producida en Lebrija- Santander hacia mercados internacionales	Delgado (2021)
3	La Piña – Estación experimental El Regreso	Wesley (1983)
4	Cultivo de piña Golden como sustitución de cultivos ilícitos de hoja de coca	Sanabria & Vázquez (2018)
5	Cultivo de Piña	SENA (2015)
6	Estrategias para la competitividad de la piña tipo exportación en Colombia	Betancur & Palencia (2018)
7	Cadena de la Piña	Minagricultura (2019)
8	Mapa de cadena de valor como una herramienta para la mejora de los procesos de cosecha y postcosecha en una empresa productora de piña	(Camacaro et al., 2021)
9	Establecimiento y manejo de un cultivo de piña en la sede de la asociación de ingenieros agrónomos del llano en Villavicencio	(Garzón Serrato, 2016)
10	Aportes de la agrobiodiversidad a la sustentabilidad de la agricultura familiar en Colombia	(Acevedo et al., 2020)

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
 DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
 EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

11	Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (<i>Ananas comosus</i>) en Costa Rica	(Hernández, 2018)
12	Comportamiento agronómico de la piña <i>Ananas comosus</i> L. variedad perolera, en cuatro distancias de siembra, en el centro de producción y prácticas Río Verde, de la UPSE, en el cantón Santa Elena.	(Bajaña Alvarado, 2019)
13	Aprovechamiento de los residuos de piña para la producción de celulosa nanofibrilar (NFC) y nanocelulosa cristalina (NCC)	(Araya, 2018)
14	Producción de Piña (<i>Ananas comosus</i>) Golden: experiencias del IRD Selva (UNALM) en Satipo - Junín	(Anahui Andía, 2019)

Fuente: Autores

4.2. ESTABLECIMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0 APLICABLES

Para el establecimiento de las tecnologías de la industria 4.0 que se encuentran inmersas en la producción agrícola, se emplearon como base investigaciones enfocadas a los avances tecnológicos, estrategias y herramientas que facilitan y permiten la implementación de este enfoque, a partir de trabajos, artículos, investigaciones y desarrollos en el área de la agricultura. En la Tabla 2 se presentan las principales tecnologías que se involucran en los procesos de producción de la agricultura en general.

Tabla 2. Tecnologías I4.0 en Agricultura

Tecnologías de la Industria 4.0 en la Agricultura		
	Título	Autor
1	From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges	(Lui et al., 2020)
2	Industria 4.0 en la agricultura y la ingeniería automotriz	(Aleph, 2020)
3	Plataforma de gestión IoT mediante técnicas de industria 4.0 para agricultura de precisión	(Pérez et al, 2020)
4	From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector	(Trivelli et al., 2019)
5	Agricultura de Precisión en Colombia Utilizando Teledetección de Alta Resolución	Parody & Zapata (2018)
6	Internet de las Cosas Aplicado a la Agricultura: Estado Actual	(Tovar et al., 2019)
7	Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application	(Dholu & Ghodinde, 2018)
8	Agriculture 4.0	(Lasi et al., 2014)
9	La industria 4.0: Una revisión de la literatura	(Fernández, 2017)
10	Industry 4.0: A review on industrial automation and robot	(Kamarul et al.2016)
11	Estudio de Tecnologías 4.0 en el Sector de Industrias Alimentarias	(Bajar & Jove, 2020)
12	Big data analytics aplicada en la integración de datos de internet de las cosas, caso de uso: Agricultura de precisión	(Vargas, 2021)
14	Blockchain y gestión de datos en el sector agroalimentario: Reducción de costes y nuevas oportunidades	(Parra, 2020)
15	Design and Development of a Crop Quality Monitoring and Classification System using IoT and Blockchain	(Sangeetha, 2021)
16	Diseño de un modelo de costos basado en actividades aplicado a procesos logísticos. Caso: empresa del sector alimenticio tradicional.	(Aguirre & Zuñiga, 2020)
17	Optimización de la trazabilidad del aceite de palma por medio de blockchain y IoT	(Soto, 2019)

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

18 Modelo para el intercambio de bienes en el sector agrícola (Cortez, 2019)
empresarial peruano utilizando las tecnologías Smart Contracts y
Blockchain

Fuente: Autores

4.3. DIFICULTADES DE LA AGRICULTURA 4.0 EN SANTANDER PARA LA PIÑA

Para poder establecer las dificultades que tendría la implementación de la industria 4.0 en la agricultura en Santander, en particular hacia procesos de producción de piña, se llevó a cabo una revisión de la literatura disponible, la consulta bibliográfica permitió identificar los trabajos que se relacionan en la Tabla 3.

Tabla 3. Identificación de Dificultades de Implementación de Agricultura 4.0 en Santander

Identificación de Dificultades de Implementación de Agricultura 4.0 en Santander		
#	Título	Autor
1	Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges	(Zhai, et al., 2020)
2	A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda	(Klerkx et al., 2019)
3	Agricultura Y Conflicto Armado En Colombia Desde El Siglo XX Hasta La Actualidad	(Sora, 2021)
4	From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges	(Lui et al, 2020)
5	Exploring the Adoption of Precision Agriculture for Irrigation in the Context of Agriculture 4.0: The Key Role of Internet of Things	(Montelone et al., 2020)
6	Tan cerca y tan lejos de la agricultura 4.0 en Colombia	(Cerón, 2020)
7	La Insostenible Agricultura 4.0	(Mooney, 2020)
8	Nuevas tecnologías y agricultura 4.0: Impacto en los recursos humanos de la industria agrícola en Centroamérica	(Wandel, 2021)
9	Artificial Intelligence Model Implementation in Web-Based Application for Pineapple Object Counting	(Rahutomo et al., 2019)
10	Agriculture 4.0 the advance in models and new knowledge to improve production	(González et al., 2020)
12	Agricultural 4.0: Its Implementation Toward Future Sustainability	(Yahya, 2018)
13	The Situation and Challenges of Pineapple Industry in China	(Shu, 2019)
14	Soft Grippers for Automatic Crop Harvesting: A Review	(Navas, 2021)
15	Sustainability Assessment and Agricultural Supply Chains Evidence-Based Multidimensional Analyses as Tools for Strategic Decision-Making—The Case of the Pineapple Supply Chain in Benin	(Desclee, 2021)

Fuente: Autores

4.4. PROPONER UN ESQUEMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA AGRICULTURA 4.0 PARA LA PIÑA

Con el fin de desarrollar un esquema que permite la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 para el sector de la piña, que sea un potencial desarrollo a futuro para lograr una migración paulatina desde la agricultura tradicional de los pequeños productores hasta llegar a la Agricultura 4.0 en modo de propuesta, se desarrolló una revisión bibliográfica, en la que se tuvo en cuenta trabajos y proyectos enfocados a la Agricultura 4.0, Agricultura 4.0 en cultivo de Piña y Agricultura 4.0 en cultivo de frutas y verduras en general, de manera que se pudiera establecer un sistema práctico para implementar. A continuación, en la Tabla 4 se presentan los principales resultados.

Tabla 4. Implementación de Agricultura 4.0 en la Producción de Piña

Base de Propuesta para Implementación de Agricultura 4.0 en Santander		
	Título	Autor
1	Retos de ingeniería para la producción de piña de alta calidad en el valle del cauca: el caso de bengala agrícola	(Franco & Barona, 2018)
2	Pineapple Value Chain Analysis in Klaeng, Rayong	(Rattanamahapaisan, 2016)
3	IoT Device Identification Using Supervised Machine Learning	(Wang, 2022)
4	Drone Hacking with Raspberry-Pi 3 and WiFi Pineapple: Security and Privacy Threats for the Internet-of-Things	(Westerlund, 2019)
5	Pineapple maturity classifier using image processing and fuzzy logic	(Alboleda, 2019)
6	Convolutional Neural Network for Pineapple Ripeness Classification Machine	(Chaikaew, 2019)
7	Prediction of Pineapple Sweetness from Images Using Convolutional Neural Network	(Adisak, 2020)
8	Comprehensive Pineapple Segmentation Techniques with Intelligent Convolutional Neural Network	(Azmi, 2018)
9	Object Detection and Size Determination of Pineapple Fruit at a Juicing Factory	(Harris, 2021)
10	Artificial Intelligence-Based Real-Time Pineapple Quality Classification Using Acoustic Spectroscopy	(Huang, 2022)
11	Design and Development of the Pineapple Harvesting Robotic Gripper	(Kurbah, 2021)
12	Developing Robotic System for Harvesting Pineapples	(Thuc Anh, 2020)
13	Microcontroller-Based Semiautomated Pineapple Harvesting System	(Bhat, 2020)
14	Automated spray up process for Pineapple Leaf Fibre hybrid biocomposites	(Zin, 2019)

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

15	Utilization of image analysis for description of drying characteristics of selected tropical fruits	(Wasserbauer, 2019)
16	Genetic Algorithm based Internet of Precision Agricultural Things (IopAT) for Agriculture 4.0	(Roy, 2020)
17	The role of drones for supporting precision agricultural management	(Rachman, 2019)
18	Study of porous rubber pipes reinforced with waste tire fiber and pineapple leaf fiber for smart irrigation system	(Junpunya, 2022)
19	Soil pH Mapping of Pineapple Crop: A Feasibility Study using Aerial Photo	(Jack, 2019)
20	Novel Technology for Sustainable Pineapple Leaf Fibers Productions	(Yusof, 2015)

Fuente: Autores

5. RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CULTIVO DE LA PIÑA

5.1.1. *Generalidades del Proceso*

Para el cultivo de piña en Colombia se deben tener como base una serie de importantes factores edafoclimáticos para la zona de producción. La temperatura apropiada para el crecimiento se encuentra entre 23 a 30 °C, con un punto de temperatura de cultivo óptimo de 27 °C. Si en la zona se cuenta con una temperatura mayor a 30°C se puede obtener un fruto con un alto grado de acidez, poco agradable para el consumo y comercialización. Al tener en cuenta el nivel de lluvias o precipitación requerido, este se encuentra entre 1.500 mm hasta aproximadamente 3.500 mm al año. Las características de brillo solar y hora apropiadas para exponer a la luz son de 1.200 horas. Para lograr un buen proceso de cultivo de la piña la altitud adecuada para su crecimiento y desarrollo se encuentra entre 0 hasta los 1.200 msnm, pero la literatura propone una altura entre los 300 y 900 metros al nivel del mar (msnm) Guerrero (2020).

Para el proceso de cultivo de piña es necesario de manera inicial, desarrollar un proceso de estudio de suelo que permita establecer si el terreno que se va a seleccionar es apto o cuenta con características idóneas para el cultivo, es por esto que como segundo requerimiento, se debe preparar el suelo, este debe poseer la característica de no acumulación de agua o que cuente con piso de aradura o barreras de modo interno que estén compactados, e idealmente con un pH de 4,5 a 5,5 (Minagricultura, 2019). Como aspecto tercero se debe contar con un semillero adecuado para el cultivo, este no debe presentar alguna enfermedad o algún tipo de plaga (Delgado, 2021).

Para Sanabria & Vázquez (2018), una vez verificado esto, se debe colocar la corona previamente lavada para eliminar impurezas, enterrada en el suelo, para que inicie su proceso de crecimiento, la cual dura de 6 a 7 meses, floración hasta la recolección abarcando de 5 a 6 meses y la producción de retoños para nuevas plantaciones durando de 3 a 6 meses, esto puede variar de acuerdo al tipo de piña según Betancur & Palencia (2018). Una vez se establezca una plantación de tipo uniforme para que la piña crezca con excelentes características, se debe proteger de las potenciales bajas temperaturas en la temporada de invierno y su paso al verano, de manera que la plantación de piña se cubre con un plástico para que la raíz no se estropee. Como paso final se requiere un proceso de fertilización para que logre un crecimiento adecuado con los nutrientes adecuados para tal fin (SENA, 2015).

5.1.2. Etapas de Proceso de Producción de Piña en Santander

- Preparación de Suelos

El proceso de preparación del suelo para el cultivo de piña da inicio con la limpieza del terreno, de manera que se extraigan elementos que perjudiquen el proceso de crecimiento del cultivo. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de adición de material orgánico, en este caso residuos vegetales, que permiten la mejora del suelo por el contenido de materia orgánica, como se muestra en la Figura 2. Cabe aclarar que estos residuos vegetales deben pasar por un proceso de descomposición para que no sean huéspedes de parásitos que dañen el proceso (Betancur & Palencia, 2018).

Figura 2. Preparación de Terreno de piña



Fuente: (Delgado, 2021)

En algunos casos se deben desarrollar procesos de desinfección previa, por lo que se debe emplear un nematicida; este proceso debe desarrollarse con tiempo suficiente de anticipación, esto para que no existan rastros o residuos tóxicos del nematicida al momento de la siembra de la piña (ver Figura 2) (Delgado, 2021).

- **Siembra de Piña**

Existen varias maneras de sembrar la piña, se puede emplear la corona, mediante retoños o mediante los hijuelos de la piña, es de vital importancia que cualquiera de los tres que se vaya a emplear debe estar lo más fresco posible, no este quebrado y que este sano. Con la idea de evitar la contaminación de los terrenos de cultivo los cultivadores, previo a trasplantar la semilla de piña en el terreno lo desinfectan, lo que logra evitar que se marchite, sufra marchitez de la cochinilla o la thielviopsis (Camacaro & Paredes, 2021).

Figura 3. Siembra por Corona de Piña



Fuente: (SENA, 2017)

De los hijos que produce la corona, el que menos se usa es el que emerge la primera vez, esto debido a que no es bueno para los procesos de propagación por ser débil o con falta de vigor, lo que provoca una producción más pequeña; se prefiere que los hijos que se empleen sean de tipo basal, esto quiere decir que provengan de la base del tallo de la piña, ya que este garantiza mejores cosechas por su vigor. Al momento que los agricultores cortan la piña en el proceso de cosecha, estos dejan la corona de los hijos para que termine su crecimiento y se pueda emplear como material de propagación para los tabloncillos de piña, en posteriores procesos de cosecha (Betancur & Palencia, 2018).

La otra manera en la que se desarrolla propagación de la piña es a través del tallo, lo que permite obtener una planta por cada yema que se lleva al vivero y se logran lotes de plantas con mayor uniformidad, esto en comparación con otros métodos (Garzón, 2016).

- Manejo de Agroquímicos en la Piña

Ciclo de vida del cultivo y velocidad de crecimiento

En esta fase denominada vegetativa, la planta de piña puede oscilar en el proceso entre 14 y 16 meses. La duración de la fase productiva oscila en un tiempo de 17 a 31 meses. En este proceso las plantas se llegan a renovar en un periodo de dos ciclos, esto debido a que existe agotamiento del suelo. A pesar de su capacidad de resistencia a la sequía, la piña no cuenta con agua para la temporada seca, lo que trae en consecuencia que su desarrollo sea mucho más lento (Acevedo et al., 2020).

Manejo de fertilización en el cultivo de la piña

El proceso que se lleva a cabo para la incorporación de nutrientes se realiza mediante fertilizantes granulados, los cuales se aplican en la base de la planta, esto se logra mediante procesos de aspersión de abonos foliares. Este proceso se aplica máximo tres veces al año, cuando es necesario realizar corrección de falencias de nutrientes en los suelos (Betancur & Palencia, 2018).

Figura 4. Fertilización por Aspersión



Fuente: (Betancur & Palencia, 2018)

Es necesario desarrollar un plan programado de fertilización, de manera que previamente, deber realizarse un proceso de análisis del suelo con el fin de identificar los nutrientes que realmente necesita el suelo. En los cultivos de piña los componentes más importantes para adicionar son el potasio y el nitrógeno (Camacaro & Paredes, 2021).

Influencia de los Nutrientes en el cultivo de piña

El nitrógeno tiene que ver con los rendimientos, sus deficiencias afectan directamente el crecimiento, lo que se evidencia en plantas enanas y amarillamiento. Mientras que el potasio tiene que ver con la calidad del fruto específicamente con la concentración de azúcares y sólidos en el tejido de la pulpa, evidenciándose en una fruta de poco sabor (SENA, 2017).

La falta de potasio puede identificarse, el síntoma es la aparición de puntos amarillos en las hojas, si esto ocurre al menos dos meses antes de la cosecha, puede corregirse parcialmente con la utilización de abonos foliares.

Figura 5. Fertilizantes en la Base de la Planta



Fuente: (Camacaro et al., 2021)

Cabe recalcar, que es importante que en las primeras etapas del cultivo no falte el fósforo para que haya un buen desarrollo radical. Aunque generalmente este se encuentra en cantidades suficientes en el suelo, en pH inferiores a 6,4° comienza a disminuir su disponibilidad (Hernández, 2018).

Entre los micronutrientes lo más importante son el Zinc, el Hierro y el Magnesio, y si bien raras veces se encuentran deficiencias en estos elementos, es necesario tenerlos en consideración, ya que pueden presentarse casos de baja disponibilidad por pH, como es el caso del hierro en pH superiores a 6,5 (Bajaña, 2019).

Una deficiencia de hierro causa la clorosis de las hojas, aunque esta puede ser parcialmente controlada mediante la pulverización a bajo volumen de sulfato de hierro o hierro quelatado. También las deficiencias de Zinc pueden producirse y ser corregidas mediante la pulverización de un quelato (Araya, 2018).

Los fertilizantes en solución aplicados a las axilas de las hojas inferiores, dan mejores resultados que la fertilización granulada. El abonado debe repartirse en pequeñas porciones mensuales para el caso del nitrógeno y en pocas aplicaciones para el potasio. La aplicación de nitrógeno debe interrumpirse alrededor de dos meses antes de la inducción floral para que esta sea plenamente exitosa (Anahui, 2019).

Momento de la inducción floral

Como ya se dijo, el momento de la cosecha puede ser controlado (y es común que se haga) mediante la inducción de la floración, para realizar la inducción floral o como también se le llama hormoneo o forzamiento hay que esperar que la planta

tenga el desarrollo suficiente. El tiempo mínimo para hacerlo varía según la zona, el cultivar y las condiciones agroecológicas. Generalmente con 7 u 8 meses de edad de la planta es suficiente, pero existen zonas en las que hay que esperar que tenga por lo menos 10 meses (Cerón, 2020).

Un producto eficiente y de uso generalizado en muchos países latinos para realizar la inducción floral es el Ethel cuyo ingrediente activo es el etefort, aunque también se puede usar urea, cal o boro. Esta aplicación normalmente se hace en horas de la mañana o de la tarde, debido a que por acciones de la temperatura las estomas de la planta se encuentran totalmente abiertos (SENA, 2017).

La cosecha

La piña es un fruto no climatérico, es decir, que hay que cosecharlo ya maduro, pues una vez cortado, la maduración se detiene por completo y empieza a deteriorarse. La madurez de consumo de la piña que es cuando debe ser cortado, se alcanza alrededor de los días 72 a 79 (10-11 Semanas o 2.5-2.75 meses) después del estado de fruto madurado; no obstante, la temperatura acelera o retrasa significativamente el desarrollo del fruto, y debe ser considerada (Betancur & Palencia, 2018).

Una piña de buena calidad al momento de ser cosechada pesa alrededor de 2,5 kg, (aunque esto depende en gran medida del número de cosecha del que sea el lote) y pueden cosecharse piñas a partir de 1 kg. Es recomendable que el lote de terreno se coseche hasta un máximo de 4 veces después de esto, si no, disminuyen demasiado los rendimientos (Bajaña, 2019).

Índices de cosecha

Un aspecto clave para determinar cuando el fruto está completamente maduro para cosechar, es el color de la piña y la translucidez de su pulpa, son factores determinantes para saber cuándo puede ser cosechada de conformidad con lo que requiere el mercado. En función a esto se han asignado varios grados, que van desde grado “0” que es cuando tiene un color verde claro en la base, hasta el grado 4 que es cuando el fruto ya se ha tornado de color amarillo naranja (también existen sistemas para diferentes variedades con base a 6, 8 y hasta 10 grados basados en las tonalidades de colores diferentes (Anahui, 2019).

5.2. TECNOLOGÍAS IDENTIFICADAS PARA EL CULTIVO DE PIÑA HACIA LA I4.0

El uso de tecnologías emergentes de la Industria 4.0 en la producción agrícola y la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria, brinda la oportunidad de identificar los elementos con los que se cuenta para este desarrollo. A continuación, se analizan cinco tecnologías emergentes sobre aplicaciones clave para la agricultura 4.0 y los desafíos de la investigación.

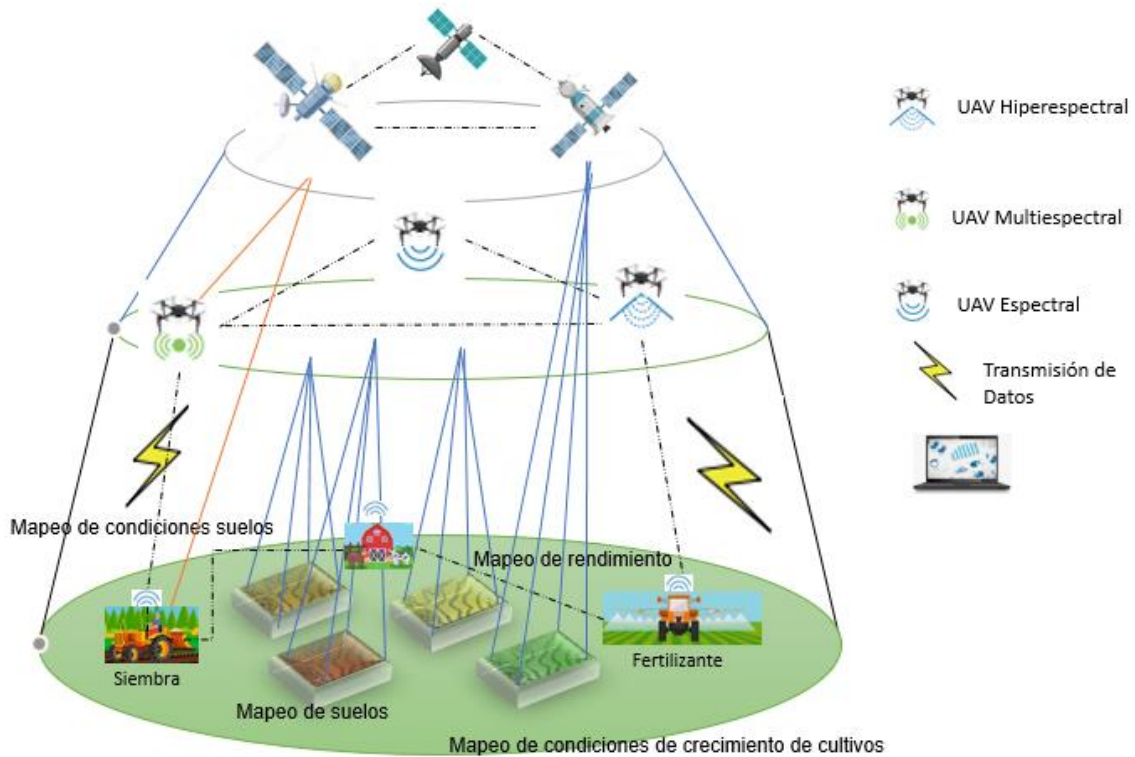
5.2.1. Internet de las cosas

El IoT (Internet de las Cosas), como tecnología central en la Industria 4.0, ha transformado muchos aspectos de nuestra vida cotidiana al crear un mundo conectado inteligente. Algunos casos de uso son el hogar inteligente, Internet industrial y vehículos conectados. En consecuencia, también se espera que fomente el sector agrícola. Las aplicaciones agrícolas de IoT incluyen la agricultura de precisión, el monitoreo del ganado, el invernadero inteligente, la gestión pesquera y el seguimiento del clima (Dholu & Ghodinde, 2018).

La Red Integrada Espacio-Aire-Tierra-Subsuperficie (RIEATS) se ha establecido como una estrategia que permite la detección y creación de redes inalámbricas agrícolas ubicuas (Lasi et al., 2014). El paradigma de RIEATS que se muestra en la Figura 6, se realizaría a través de la combinación de teledetección, drones, vehículos agrícolas inteligentes, redes de sensores inalámbricos y detección de movimiento de animales. Sobre la base de la infraestructura espacial nacional y comercial, el establecimiento de una constelación de satélites de teleobservación podría proporcionar una cobertura completa de la adquisición de información agrícola, lo que es especialmente eficiente para la previsión de la

producción de cultivos, la modelización del rendimiento, la identificación de plagas, mapeo de suelos, entre otros (Aleph, 2020).

Figura 6. Red Integrada Espacio-Aire-Tierra-Subsuperficie



Fuente: Autores con base en (Giraldo, 2020)

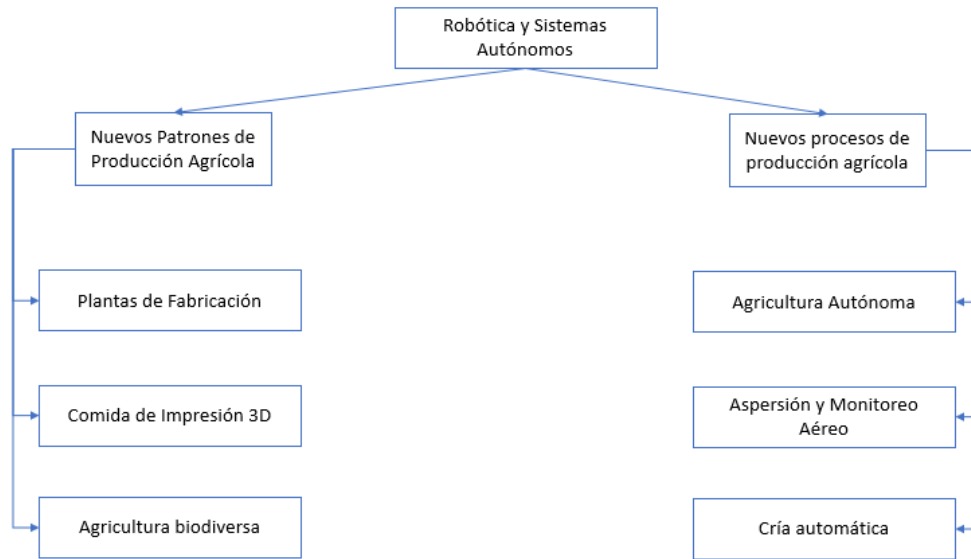
Además, los vehículos aéreos no tripulados avanzados equipados con sensores hiperespectrales, cámaras multispectrales y otros instrumentos novedosos pueden proporcionar respuestas de emergencia rápidas y mejorar la precisión de la observación, a través del monitoreo 3D de alto rendimiento en diferentes áreas geográficas (Tovar et al., 2019). Finalmente, diferentes tipos de nodos de sensores agrícolas, vehículos agrícolas autónomos y detección de multitudes móviles como ganadería y peces, son responsables de la percepción del suelo y la superficie inferior (Fernández, 2017). Gracias a los avances en las

tecnologías de comunicación, se pueden elegir diferentes tipos de redes inalámbricas (por ejemplo, 5G, LoRa, NB-IoT, Sigfox, ZigBee y WiFi) para cumplir con los diversos requisitos de servicio en aplicaciones agrícolas (como control remoto de equipos en tiempo real, fenotipado de plantas de alto rendimiento) para una mejor cobertura, densidad de conexión, ancho de banda y latencia de extremo a extremo (Giraldo, 2020).

5.2.2. Robótica y Sistemas Autónomos

La Robótica y los Sistemas Autónomos (RSA), una integración de muchas tecnologías emergentes (como la robótica, la visión por computadora, la inteligencia Artificial (IA) y los sistemas de control), se han utilizado ampliamente en la fabricación industrial para aumentar la productividad, mejorar la confiabilidad de los productos y reemplazar a los humanos para realizar tareas repetitivas que con el tiempo les pueden causar lesiones de gravedad (Trivelli et al., 2019). Mientras tanto, la producción agrícola se ha transformado fundamentalmente mediante la aplicación de RSA en la industria agrícola. Como se muestra en la Figura 7, las plantas de fabricación, la impresión 3D de alimentos y la agricultura biodiversa son tres aplicaciones clave que tienen el potencial de ser nuevos patrones de producción agrícola en la agricultura industrial. En la actualidad, es difícil expandir la tierra agrícola del mundo para preservar la forestación. Más del 20% de las tierras agrícolas en el mundo están muy degradadas, mientras que el resto de la superficie agrícola está amenazada (Kamarul et al., 2016).

Figura 7. Robótica y Sistemas Autónomos



Fuente: Autores con base en Kamarul et al. (2016).

La implementación de Plantas de Fabricación parece prometedora para satisfacer la demanda mundial de alimentos y el uso sostenible de los recursos naturales. La impresión 3D de alimentos se presenta como una alternativa a la producción de alimentos de forma automatizada de fabricación aditiva. En las granjas biodiversas, se cultivan múltiples cultivos simultáneamente en una tierra de cultivo. La diversidad de cultivos ayuda a que los nutrientes del suelo sean más equilibrados y a proteger contra enfermedades y plagas. Con la ayuda de la robótica agrícola, se podrían resolver limitaciones como la baja productividad y el trabajo manual intensivo. Cabe señalar que la agricultura biodiversa también aumenta la complejidad en la aplicación de la robótica agrícola debido a la variación en la detección, clasificación, cosecha y otras actividades agrícolas. (Bajar & Jove, 2020).

Por otro lado, RSA también está transformando el proceso de producción agrícola, donde las aplicaciones clave incluyen la agricultura autónoma, la fumigación y monitoreo aéreo, la cría automática de animales, etc. Los tractores

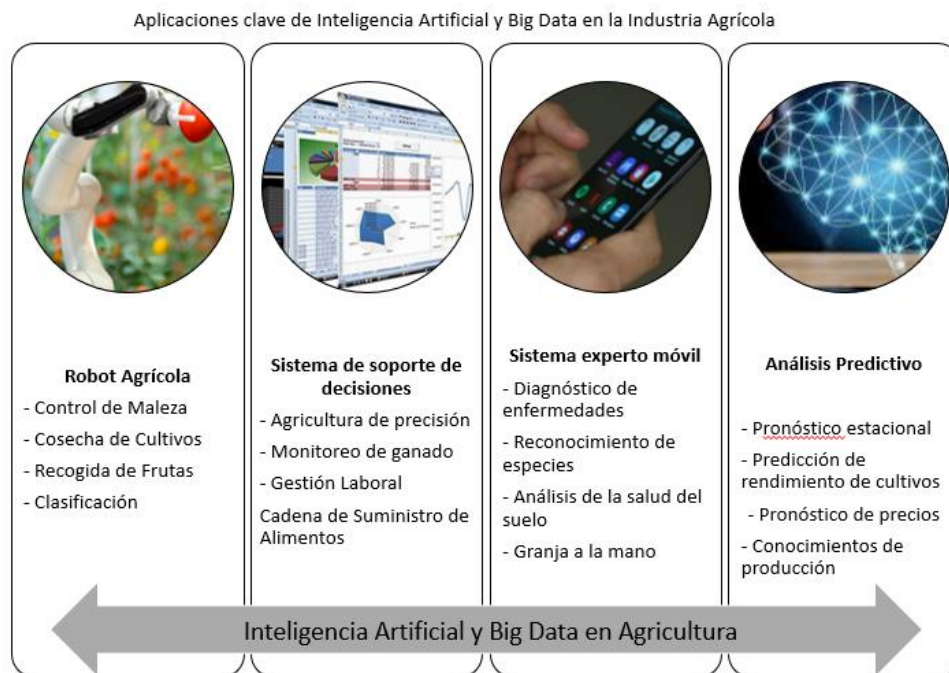
inteligentes trabajarían en colaboración para generar rutas operativas y evitar de forma inteligente las barreras en el campo, para garantizar la seguridad tanto de las tierras de cultivo como de los seres humanos. Los desmalezadoras robóticas pueden diferenciar las malezas de los cultivos a través de la visión por computadora, y luego rociar con precisión el herbicida solo sobre las malezas o erradicarlas directamente sin dañar los cultivos. Los robots de recolección y cosecha ayudan a los agricultores a recolectar tomates, cítricos, manzanas y fresas de manera más eficiente. Reconocen frutas y verduras en el campo, determinan su ubicación y colocan las maduras en cajas. Dado que la velocidad de operación es doce veces más rápida que las máquinas terrestres, la aspersión y el monitoreo de cultivos aéreos han atraído una atención considerable (Fernández, 2017).

5.2.3. Inteligencia artificial

La Inteligencia Artificial desempeña un papel importante en la Robótica y los Sistemas Autónomos. Con capacidades de clasificación, regresión logística, análisis de asociación y toma de decisiones, la IA también se está aplicando a otras aplicaciones en la agricultura, como el Sistema de Soporte de Decisiones Agrícola (SSDA), el sistema experto agrícola móvil y el análisis predictivo agrícola. En la investigación de Brenes et al (2019) se examinaron cuatro casos de uso de SSDA, que incluyen la planificación de misiones, la gestión de los recursos hídricos, la adaptación al cambio climático y el control del desperdicio de alimentos. Mientras que un trabajo reciente realizado por Segovia et al. (2021) se centró en la revisión de la gestión de datos de cultivos, en la que se presentó su capacidad de toma de decisiones habilitada por SSDA. Además, los sistemas inteligentes de monitoreo de salud animal son un enfoque importante de la investigación actual e impulsan el crecimiento de la IA en los mercados agrícolas. Los dispositivos portátiles para animales, los sistemas de visión por computadora y otros dispositivos de detección

pueden capturar el estado de los animales en tiempo real. Luego, el motor de inteligencia ayuda a analizar la salud del ganado, el bienestar animal, la producción, etc. En los últimos años, se han realizado muchos avances tecnológicos en el ámbito de la vigilancia inteligente de la salud animal. Los enfoques de visión artificial para la detección del comportamiento animal se revisaron en (Fernández, 2017). Un estudio reciente de Aleph (2020) discutió sistemáticamente el SSDA para la acuaponía inteligente. Además, un estudio piloto desarrollado por Jenkins et al, (2019) muestra que la tecnología de gemelos digitales es útil para prevenir enfermedades animales en el ganado. Como se muestra en la Figura 8, el sistema experto móvil es otra aplicación clave de la IA en la agricultura.

Figura 8. Aplicaciones Clave de la Inteligencia Artificial y el Big Data en Agricultura



Fuente: (Aleph, 2020)

Los agricultores ahora pueden usar fácilmente teléfonos inteligentes para identificar plagas y enfermedades de las plantas (Trivelli et al., 2019). También son capaces de identificar los problemas del suelo por su cuenta con la ayuda de

aplicaciones móviles. Además, el progreso de las tierras de cultivo se puede rastrear mediante imágenes satelitales, que luego son analizadas por el motor de IA. Las aplicaciones móviles visualizan simultáneamente el resultado para que los agricultores puedan comprender el estado de forma remota (Guerrero, 2020). Finalmente, el análisis predictivo agrícola habilitado para IA y la tecnología de big data son capaces de pronosticar las condiciones climáticas, predecir los rendimientos de los cultivos, modelar la volatilidad del mercado agrícola y realizar la estimación de precios. Sobre la base de estas observaciones, se pueden proporcionar conocimientos profesionales sobre la producción a los agricultores, así como para guiar a las empresas a optimizar los recursos comerciales (Nwauka et al., 2018).

5.2.4. Análisis de Big Data

IoT ayuda a recopilar datos en cada paso de la producción agrícola y la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria. Por lo tanto, también sería beneficioso implementar el análisis de big data durante la producción, el procesamiento, la logística y el marketing de alimentos. La industria agrícola basada en datos transformaría profundamente los comportamientos de producción y consumo (Lu, 2017). Por ejemplo, SSDA, el sistema experto agrícola móvil y el análisis predictivo agrícola dependen del poder del big data, que pueden proporcionar una recomendación inteligente a los agricultores hacia la agricultura de precisión (Pérez et al., 2020). Una evaluación precisa de los riesgos podría ayudar a los agricultores a gestionar mejor los riesgos agrícolas en términos de producción, mercado, riesgo institucional, junto con el riesgo personal y financiero (Bajar & Jove, 2020). Por ejemplo, la solución agrícola basada en datos para la gestión de la sostenibilidad en la cadena de suministro de subproductos se introdujo en el trabajo desarrollado por Parrales & Ruiz (2020). En Vargas (2021) se presentó

un debate exhaustivo sobre los impactos del análisis de big data en la cadena de suministro agroalimentario desde múltiples perspectivas, incluido el impacto funcional, el impacto económico, el impacto ambiental, el impacto social, el impacto empresarial y el impacto tecnológico.

5.2.5. Blockchain

El contrato inteligente (o tecnología de contabilidad distribuida) y la ciberseguridad son dos aplicaciones clave de blockchain en la agricultura. Un contrato inteligente basado en blockchain para la cadena de suministro agroalimentaria rastreable. El IoT proporciona detección de forma precisa a lo largo de toda la cadena de suministro. Con el contrato inteligente, todas las transacciones se registran de manera descentralizada. Un historial de transacciones inmutable desde los proveedores de materias primas hasta los consumidores ayudaría a mejorar el control de calidad de los alimentos, aumentar la trazabilidad y, finalmente, superar el problema de la seguridad alimentaria (Parra, 2020). La transformación digital de la cadena de suministro agroalimentaria es importante y se espera que la transformación digital de la cadena de suministro agroalimentaria sea habilitada por las tecnologías de contratos inteligentes basadas en blockchain hacia un ecosistema rastreable, transparente, confiable e inteligente (Bajar & Jove, 2020). Muchas soluciones de contratos inteligentes basadas en blockchain se han propuesto en los últimos años. Por ejemplo, una implementación práctica de una solución de trazabilidad basada en blockchain llamada Agri-Block IoT desarrollada por Sangeetha et al. (2021), se presentó en la Cumbre sobre Agricultura. En la investigación realizada por Aguirre & Zúñiga, (2021) se propuso un enfoque de contrato inteligente basado en blockchain para la trazabilidad de la soja. La aplicación de la cadena de suministro de granos con blockchain se demostró en el trabajo de Soto (2019). Del mismo modo, el contrato inteligente para la agricultura

recibe gran atención por parte de muchas nuevas empresas de blockchain, como AgriLedger, AgriDigital, AgriChain y Ripe. Todos ellos han propuesto sus soluciones para la gestión de la cadena de suministro agroalimentario, que se espera sea habilitada por tecnologías de contratos inteligentes basadas en blockchain, hacia un ecosistema rastreable, transparente, confiable e inteligente (Cortez, 2019).

5.3. DIFICULTADES PRESENTES EN LOS PROCESOS DE ADAPTACIÓN A LA AGRICULTURA 4.0 PARA PRODUCCIÓN DE PIÑA

5.3.1. Dificultades de Implementación

- Dificultades Geográficas

A partir de esta revisión documental y lo expuesto por los diferentes autores, se logra entender que existen distintas dificultades y distintos retos para lograr una migración hacia la implementación de procesos de producción agrícola 4.0, no solo en la piña, sino en prácticamente el ámbito agrícola en general. Como lo expone Cerón, (2020), a pesar de los beneficios de la Agricultura 4.0, algunas tecnologías no pueden ser adoptadas por algunos productores debido a su alto costo o condiciones de campo inadecuadas, principalmente áreas montañosas que no admiten el uso de ciertas tecnologías. Afortunadamente, las principales zonas de cultivo de piña para Santander son áreas por lo general planas o de bajo relieve. Aunque el uso de grandes máquinas en áreas montañosas es un desafío, tecnologías como los sensores pueden ser más fáciles de implementar en estas áreas y pueden ofrecer un apoyo significativo para controlar las variables ambientales (Bajar & Joven, 2020).

- Dificultades Ambientales

La gestión de las actividades agrícolas requiere un alto grado de cuidado para no afectar el medio ambiente. El monocultivo intensivo, por ejemplo, es una actividad nociva para la calidad del suelo, el agua, el aire y la salud humana. Se deben desarrollar estudios a profundidad sobre la producción de la piña que pueden ayudar en la identificación de las mejores prácticas a favor de la preservación del medio ambiente (Mooney, 2020), como la agricultura climáticamente inteligente y

los sistemas agroforestales. La agrobiodiversidad ofrece caminos hacia la resiliencia ambiental y la sostenibilidad a través de mecanismos de producción con menor riesgo y mitigación de impactos ambientales. Para los próximos años, es posible esperar grandes transformaciones en el sector de producción de piña, que impactarán los pilares sociales, económicos y ambientales de la sostenibilidad. La preocupación no puede ser solo con el nivel de producción y procesos, sino que también tiene como objetivo mejorar las condiciones de trabajo, aumentar la calidad y desarrollar cadenas agrícolas sostenibles entre los agricultores y otras personas involucradas (Aleph, 2020). A pesar de ser un reto importante, la mejora de la productividad y la gestión sostenible serán cada vez más necesarias. Para ello, la recopilación y el análisis de grandes cantidades de datos sobre el medio ambiente marcarán una diferencia cada vez mayor en la gestión agrícola. En este sentido, se puede apoyar la recopilación y el análisis de datos (Big Data) por tecnologías emergentes de Agricultura de Precisión y la Agricultura 4.0, con el soporte de tecnologías como Machine Learning basado en Inteligencia Artificial, IoT (Internet de las Cosas) y la geoestadística (Zhai et al., 2020).

- **Materias Primas y Recursos**

Los patrones de consumo de alimentos han cambiado, y satisfacer estas demandas requiere un número creciente de insumos que pueden causar un colapso de los recursos en diversos sectores, principalmente relacionados con los problemas del agua, la tierra cultivable y la energía limpia. Las fluctuaciones climáticas también plantean riesgos como sequías o inundaciones, escasez de alimentos y mayores desigualdades sociales. Las prácticas relacionadas con la gestión del suelo y el agua, los servicios de gestión de cultivos, la transformación de procesos y la diversificación de cultivos deben compartirse y difundirse entre los agricultores en favor de un futuro más sostenible. Algunas prácticas agrícolas emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero (Sora, 2021). Por otro

lado, estas emisiones perjudican la producción agrícola al elevar la temperatura, afectando la fisiología de las plantas y haciéndolas más sensibles a plagas y enfermedades (Montelone et al., 2020). El cambio climático puede requerir la zonificación de los cultivos de piña para áreas más adecuadas, una opción puede ser cultivar en áreas en las que, a pesar de la altura se logre un control de la temperatura mediante invernaderos controlados climáticamente (Lui et al., 2020). Los cambios más sustanciales serán un desafío, especialmente para los pequeños agricultores, que tienen poco acceso a las redes de conocimiento, poco apoyo organizativo y recursos financieros. Los pequeños agricultores necesitarán sistemas de acción colectiva que apoyen nuevas políticas, incentivos y formaciones de mercado (Bajar el al., 2020).

- **Cambio de Mentalidad de los agricultores**

Uno de los principales desafíos es convencer a los pequeños productores para que utilicen tecnologías complejas que no ofrezcan resultados significativos en un corto período de tiempo (González et al., 2020). La implementación tecnológica y la transformación de la gestión depende de las características de cada productor, lo que hace imposible crear un plan de recomendaciones generales (Rahutomo et al., 2019). Los desafíos relacionados con el cambio climático y la difícil introducción tecnológica pueden reducir los rendimientos agrícolas y un riesgo operativo que hace insostenible cubrir los costos de producción, lo que posiblemente no permita la adopción de las tecnologías y estrategias de la industria 4.0 financieramente a muchos productores (Wandel, 2021). En este contexto, es necesaria una nueva forma de pensar sobre la agricultura para buscar formas de producción que no dañen la naturaleza. Las estrategias A4.0 pueden ser una forma de lograr la seguridad alimentaria mundial, reducir el consumo y el desperdicio, y garantizar una producción sostenible con menos impacto ambiental (Klerkx et al., 2019).

5.3.2. Dificultades Organizacionales

Heterogeneidad del sector

Ninguna solución única, ya sea tecnológica, modelo de negocio o regulatoria, se ajustará o acomodará a las necesidades de todos. Esto se debe en parte a que cada proceso es diferente, a partir de las características del clima, nivel de lluvias en la zona, condiciones de suelo (nivel de nutrientes requeridos) y características del cultivo de piña, cada especie requiere y necesita diferentes cantidades, pero específicas para el tipo de piña, esto para lograr su producción adecuada (González, 2020).

Costos de inversión de capital

El desafío es hacer que las ofertas de IoT para migrar hacia agricultura 4.0, sean lo suficientemente atractivas para los pequeños agricultores con una inversión limitada disponible para nuevas tecnologías (Cerón, 2020). Esto se debe a que se pueden desarrollar estrategias de bajo costo, con sensores para la toma de datos y monitoreo del comportamiento del cultivo, en cada una de las etapas de producción de piña, dispositivos microcontroladores o placas de programación, y dispositivos de conexión a la nube y acceso a internet, servidores y equipos de visualización como smartphones y ordenadores, conectados a plataformas de visualización de datos, en etapa de prototipo con dispositivos electrónicos de bajo costo, los cuales serán más económicos que sistemas electrónicos potenciales ya disponibles en el mercado con las mismas prestaciones pero a precios mucho más altos (Zhai et al., 2020).

Modelos de negocio y confidencialidad empresarial

Al hablar del entorno empresarial, las oportunidades de incursión de las entidades expertas en tecnologías como Internet de las cosas, Inteligencia Artificial, Robótica y Vehículos Autónomos y las demás tecnologías que involucran la aplicación de Agricultura 4.0, deben desarrollar modelos flexibles y adaptables a las necesidades de los cultivadores de piña, crear un vínculo con sus clientes de manera que a través de buen servicio y equipos de alto rendimiento se logre confiar en las empresas y se pueda aportar al cambio hacia la Industria 4.0 en agricultura y dirigida hacia los cultivos de piña (Yahya, 2018).

5.3.3. Desafíos sociales

Falta de requisitos de habilidades técnicas

Para Shu (2019) uno de los desafíos más importantes en el proceso de transición hacia las tecnologías de la Agricultura 4.0, es contar con personal, profesionales e ingenieros capacitados en el conocimiento de estas herramientas, esto debido a que los requisitos, habilidades y los presaberes, son necesarios y fundamentales para estos procesos. Tecnologías como la inteligencia Artificial, Robótica y Sistemas autónomos e Internet de las Cosas, son alternativas que requieren conocimientos técnicos precisos y amplios, para lograr dar respuesta a las necesidades y dificultades tecnológicas para el desarrollo de proyectos hacia este fin (Navas, 2021).

Aceptación del usuario y de la sociedad

Otra dificultad relacionada con los procesos de migración hacia la implementación de las tecnologías de la agricultura 4.0, son los procesos de aceptación del usuario (Desclee, 2021). Infortunadamente, existe aún una parte de

los cultivadores que muestra una resistencia al cambio, debido a que se llevan procesos de cultivo de manera artesanal muy arraigados, inclusive procedimientos de cultivo aprendidos desde la familia y desde hace muchos años, lo que hace muy difícil cambiar la forma de pensar de los cultivadores de piña (James, 2021). Otro problema que se presenta, es el hecho de que se cree que los procesos de implementación y las tecnologías, dispositivos y sistemas aplicados requieren altas cantidades de inversión y que estos sistemas requieren altos costos (Rodríguez, 2016). Por eso, se debe optar por dispositivos con altas prestaciones y a precios que sean asequibles para los pequeños productores de piña, de forma que se logre cambiar esta manera de pensar. Además, se requiere contar con procesos de posibles capacitaciones por parte de las empresas y así, se de paso a paso la asimilación de estas tecnologías (López, 2021).

5.3.4. Retos tecnológicos

Automatización de Procesos

Según Saiz (2020), para lograr la automatización de procesos, se requieren conocimientos importantes de cada etapa del proceso de cultivo de piña, por ejemplo, la toma de datos por parte de los dispositivos de sensado de humedad, temperatura y la dosificación de nutrientes del suelo, son importantes para controlar los crecimientos del cultivo. Infortunadamente, para implementar tecnologías dirigidas hacia procesos de Agricultura 4.0, se requiere la recopilación, combinación y análisis de datos de diferentes fuentes de datos, con sistemas de procesamiento de alta potencia que permitan lograr, en definitiva, una analítica de Big Data para la toma de decisión, respecto a los procesos que lo implementen (Farooq, 2019).

Complejidad de hardware y software

Una dificultad a la que se enfrentan los cultivadores de la piña radica en la complejidad para el desarrollo tecnológico de implementación, esto debido a que la estructura que manejan las IoT y las tecnologías de la agricultura 4.0, requieren una sincronización de hardware (dispositivos electrónicos, robots, sistemas autónomos, sensores, ordenadores, smartphones, placas de programación) y software (programas de análisis Big Data, servidores de almacenamiento de datos, Inteligencia Artificial, algoritmos de plataformas de programación, protocolos de comunicación, programación) que en un principio podría verse como algo complejo, debido a que se requieren conocimientos técnicos para el manejo de todos los elementos que conforman el control del cultivo de piña apoyado de herramientas tecnológicas (Bacco, 2018).

Falta de conectividad en las zonas rurales

Una de las grandes problemáticas que enfrentan los procesos tecnológicos de la agricultura 4.0, radican en la falta de acceso a Internet, de manera que la conectividad es uno de los pilares de las tecnologías como IoT, para conexión entre dispositivos electrónicos y plataformas para la transmisión de los datos, pero si no cuenta con la conectividad en la zona, debido a las dificultades del terreno, áreas alejadas de la cabecera municipal y posibilidad de acceder a la información, representa un reto importante para lograr procesos de migración eficientes (Adisak, 2020).

Potencia de procesamiento de datos

La ausencia de servicios de procesamiento de datos dificulta significativamente IoT. Este es uno de los problemas más comunes a superar con respecto a la agricultura 4.0, debido a que se requieren equipos con capacidad de

procesamiento de datos y ordenadores de alta velocidad para revisar, registrar y almacenar gran cantidad de datos ligada al proceso de producción de piña, debido a que estos registros de información, por lo general almacenan el comportamiento de variables como humedad y temperatura de forma continua, de manera que con base en esos datos, se pueda adquirir información y tomar decisiones con respecto a la evolución del cultivo de piña (Cerón, 2020).

5.4. PROPUESTA PARA DESARROLLO DE AGRICULTURA 4.0 PARA LA PIÑA

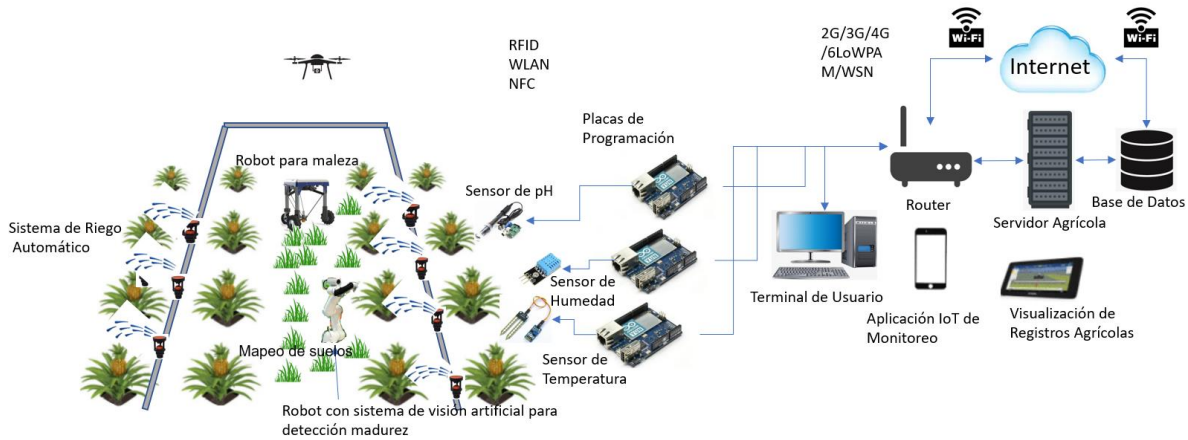
Al tener en cuenta que para lograr el desarrollo de tecnologías se deben superar dificultades de tipo geográfico, debido a que Santander es una zona por lo general montañosa, sus relieves presentan un desafío importante para el acceso a potenciales áreas de cultivo, en las que sea necesario contar con robots para revisión de procesos de crecimiento, nivel de madurez, control de malezas y detección de enfermedades en campo (Zhai et al., 2020). La literatura de igual forma mostró que existen dificultades para superar las condiciones ambientales ligadas a los periodos de sequía e intensas lluvias y manejo de la fertilidad de los suelos para dar una piña de calidad (Wandel, 2021).

Al tener en cuenta aspectos como la heterogeneidad, se logró evidenciar que aún no existe una solución única para la implementación de Agricultura 4.0, por lo que se requiere un muy buen análisis de variables para determinar las necesidades y requerimientos del proyecto (González, 2020). Una de las principales dificultades que se asume por los cultivadores de piña, son los altos costos de inversión inicial y mantenimiento de la implementación de A.4.0, debido a que los sistemas de venta comercial de estos equipos resultan en altos costos de inversión inicial, pero los desarrollos tecnológicos de bajo costo, dan los mismos resultados y con inversiones realmente bajas, frente a una relación costo beneficio, lo que hace viable la implementación (Zhai et al., 2020). Adicional a lo anterior, autores e investigadores como Navas (2021) exponen la necesidad de tener conocimientos sobre el manejo de estos equipos, de manera que se requieren personas con conocimientos técnicos, ya sea con tecnólogos e ingenieros con experiencia en el manejo de estas herramientas tecnológicas y sistemas como las IoT, Robótica, Inteligencia Artificial o Big Data, lo que dificulta la aceptación por parte de los usuarios finales y la

comunidad. Pero como respuesta, se pueden diseñar programas para desarrollar procesos de enseñanza y capacitación a los cultivadores de piña en el manejo de estas herramientas, procesos de acompañamiento y asistencia remota. Otro problema para resolver está relacionado con la conectividad en las zonas rurales de cultivo de piña que se encuentran lejos de las cabeceras municipales, pero aún así, con infraestructura adecuada se pueden lograr los desarrollos (Yahya, 2018).

A pesar de las dificultades, una buena planeación y revisión de los requerimientos y potenciales apoyos entre universidades y entidades gubernamentales permitirían desarrollos tecnológicos para los pequeños productores de piña para Santander. Tecnologías como el Internet de las cosas (Vargas, 2021), se presentan como una base importante de implementación de la Agricultura 4.0, apoyada por tecnologías como Robótica y Sistemas Autónomos (Trivelli et al., 2019), de la mano con Inteligencia Artificial (Aleph, 2020) y el Análisis de información mediante herramientas Big Data (Wang, 2022); Agricultura de Precisión (Zin, 2019), Sistemas Expertos Móviles (Thuc, 2020), Sistemas Predictivos (Roy, 2020) y el Blockchain (Junpunya, 2022), son la base que se logró identificar a partir de la recopilación bibliográfica de diversos autores, como las tecnologías que marcan la pauta actual, en los procesos desarrollados en la agricultura y procesos de cultivo, los cuales son monitoreados y los datos recolectados permiten a los usuarios la toma de decisiones o implementar acciones automáticas, con sistemas inteligentes con la capacidad de controlar y responder a las necesidades de los cultivos, de manera que se pudo establecer un esquema que plantea de forma conceptual y teórica una estrategia potencial para la migración e integración de tecnologías hacia la Agricultura 4.0 para la producción de piña en Santander.

Figura 9. Estrategia de Producción de Piña IoT para la Piña



Fuente: Autores

En la Figura 9 se muestra una base del modelo conceptual para la implementación de Agricultura 4.0, de manera que se logre una implementación de bajo costo basado en herramientas aplicadas para la tecnología integrada del Internet de las Cosas como base del sistema (Yahya, 2018). En campo deben instalar sensores para el registro de parámetros ambientales que están involucrados en el proceso de producción y cultivo de piña. La variedad de sensores del mercado y la selección dependerá de las necesidades del cultivo; para este caso, como ejemplo se postulan sensores de temperatura, humedad y pH del suelo (Westerlund, 2019). Estos registran los datos analógicos, se envían mediante protocolos como RFID, WLAN, NFC, entre otros, y mediante programación establecida en lenguaje C en la plataforma de desarrollo o placa de programación, se realiza una conversión de voltaje acorde al nivel de la variable medida para asignar un valor numérico de la misma (Bacco, 2018). El dato convertido se envía a un Router, y a través de un punto de acceso denominado Gateway IoT, la información se envía a la nube de Internet IoT, y este enruta los datos hacia el servidor Agrícola, el cual almacena y procesa la información en su base de datos, y permite que sea vista en plataformas IoT para monitoreo de datos, a partir de un dispositivo smartphone u ordenador

como un terminal de usuario y de igual forma, se puede emplear un sistema de registro agrícola (Bhat, 2020).

Otras tecnologías involucradas y conectadas mediante IoT e Internet, Wifi, Bluetooth y otras tecnologías, son los robots autónomos, de manera que mediante sistemas de inteligencia artificial y análisis de datos con tecnología Big Data se pueden realizar procesos de riego basados en agricultura de precisión y agricultura inteligente (Farooq, 2019). A partir de la humedad detectada por el sensor para tal fin, se puede activar o desactivar un control que mide los datos obtenidos y compara ese valor, con el valor mínimo permitido por el control del sistema humidificador, este parámetro de medición se encuentra almacenado en el microcontrolador de la placa de programación (Wandel, 2021). Además, se puede emplear sistemas para detección y corte de malezas a partir de mapeo de la zona mediante imágenes en un sistema autónomo de vuelo, también denominado dron, el cual cuenta también con una placa de programación e inteligencia artificial que, con base en la información analizada y enviada al Servidor Agrícola, permite que los robots en tierra desarrollen las actividades para las que fueron programados (Cerón, 2020). Por último, se puede emplear detección de nivel de madurez de la piña, a partir de un sistema de visión artificial que cuenta con algoritmos de inteligencia artificial para el procesamiento de imágenes y determinación del nivel de madurez del fruto. A partir de la base de aprendizaje preentrenada, esta compara la imagen captada y determina si el fruto ya se puede recoger o debe aún continuar su proceso de maduración (Westerlund, 2019). Cabe anotar que esta información también llega al servidor agrícola para que la información se registre y se almacene en el servidor agrícola y la base de datos (Azmi, 2018).

Una tecnología que se puede emplear para el manejo del cultivo de piña es el Análisis Predictivo, basado en el Análisis de Datos del Servidor Agrícola con tecnología Big Data e Inteligencia Artificial, las cuales se apoyan en redes

neuronales de aprendizaje profundo, para realizar pronósticos del clima y del rendimiento de los cultivos, para tomar decisiones y realizar correcciones a procesos de cultivo en próximos cultivos de piña y así mejorar la calidad del fruto (Dholu & Ghodinde, 2018). Finalmente, se pueden emplear procesos de tecnología blockchain para detectar todo el proceso y desarrollar una trazabilidad en un ecosistema confiable e inteligente (Zhai et al., 2020).

6. CONCLUSIONES

Mediante la revisión documental inicial se logró establecer las principales etapas y proceso de la producción de piña. Dentro de estas se destacan la preparación de suelos, proceso de siembra de cogollos o hijos de piña, manejo de agroquímicos para el crecimiento, manejo de fertilizantes, nacimiento, floración y cosecha.

Al tomar como base los trabajos desarrollados por distintos autores se pudo establecer que existen gran cantidad de tecnologías aplicadas a la industria 4.0, pero las principales son Internet de las Cosas, Robótica y Sistemas Autónomos, Inteligencia Artificial, Análisis Big Data y el Blockchain, las cuales están conformadas por distintas tecnologías para cada estructura.

Como parte de las dificultades para la migración a procesos de Agricultura 4.0, se logró identificar que las condiciones ambientales, la mentalidad de los cultivadores, los costos de implementación, requisitos técnicos, aceptación, automatización de procesos, complejidad del software, falta de conectividad en las zonas rurales y el potencial de procesamiento de los equipos de cómputo para el análisis de datos.

Al tener en cuenta el esquema planteado a partir de la revisión documental, se pudo identificar que se requiere establecer estrategias de bajo costo para que los cultivadores de piña puedan acceder a estas tecnologías y herramientas con el apoyo de los entes gubernamentales. Para esto se deben desarrollar varias etapas, que logren una integración de las tecnologías planteadas, esto, mediante procesos de diseño en fase de prototipo y desarrollar pruebas para verificar el funcionamiento

de la tecnología planteada. En la primera etapa se debe iniciar con la medición de una sola variable como temperatura y contar con un sistema de Internet de las Cosas en fase inicial, que integre sensores de medición, plataformas de adquisición de los datos para transmisión de la información hacia la nube IoT, lo que requiere acceso a Internet y un servidor para registro de datos y la conexión a plataformas IoT como smartphones y ordenadores para ver los datos registrados, esto como esquema básico, para que posteriormente se integren otras variables como humedad y condiciones de suelos. En la segunda etapa, en otros proyectos se pueden desarrollar sistemas de visión artificial en fase prototipo, para identificar la madurez y las enfermedades, de manera que se integren al esquema de IoT. Como tercer Paso se pueden desarrollar robots inteligentes, que cuenten con comunicación con el sistema IoT ya integrado, de manera que apoyado en los sistemas de visión artificial pueden determinar sus movimientos y la selección de las cantidades de agua a suministrar, determinación del punto de madurez según el color del fruto para su recolección o determinar si se requiere adición de algún nutriente, fertilizante o determinar el paso a seguir si la piña cuenta con alguna enfermedad; en este punto, dada la cantidad de datos a procesar, ya se debe contar con un sistema de cómputo y procesamiento de alto rendimiento para la integración de la tecnología Big Data y así desarrollar la toma de decisiones por parte de los cultivadores.

El valor agregado de esta monografía se ve representado al desarrollar una alternativa tecnológica, que de ser llevada a cabo, con el tiempo permitirá la mejora de todo el proceso y las fases de producción de la piña para los cultivadores de la región, con etapas controladas, lo que trae como resultado un mejor uso de los recursos como agua y mejora de los suelos, lo que será una alternativa a la mitigación de impactos ambientales asociados a los procesos de producción de la industria de la piña. Además se podrá presentar un producto de mejor calidad, para que los cultivadores de piña sean más competitivos en los mercados nacionales e

internacionales a futuro, lo que representa una mejora en las ganancias económicas del cultivador y por ende mejorará sus condiciones de vida y la de sus familias, lo que representa un impacto social; además representa una oportunidad de crecimiento económico para la región y crecimiento potencial de los índices de crecimiento económico de Santander. Por otra parte, la investigación y el documento que se entrega a la Institución representa un aporte a los procesos de investigación llevados a cabo por el grupo SOLYDO de la Tecnología en Producción Industrial, la cual contará en su base de datos con un material que será la base de posteriores trabajos al establecer un inicio hacia la potencial migración de la agricultura tradicional y artesanal, hacia la cuarta revolución de las tecnologías de la Agricultura 4.0.

El desarrollo de esta investigación permitió identificar de manera clara, los avances tecnológicos que se han desarrollado en los últimos años, en respuesta a las necesidades en la mejora de los procesos de producción en la agricultura 4.0, esto con el objetivo de desarrollar estrategias sostenibles, encaminadas a el uso eficiente de los recursos, lo que ha logrado disminuir los impactos ambientales de procesos a gran escala, se reducen los costos de producción y se logran productos de mejor calidad, para que sean más competitivos. El aprendizaje obtenido demuestra el potencial de la industria 4.0 en el proceso de producción de piña y muestra que se logran acuerdos y alianzas se puede ayudar al productor de piña santandereano y a la región.

7. RECOMENDACIONES

Al tener en cuenta las tecnologías y la importancia para la mejora de procesos de producción, que logren mejorar la calidad y desempeño del cultivo de piña, de manera que se haga más competitivo al productor santandereano, se recomienda dar continuidad a los procesos desarrollados a esta investigación y de ser posible, hacer alianzas con carreras como sistemas y electrónica para visualizar la posibilidad del esquema, las tecnologías y estrategias presentadas.

Se recomienda hacer una revisión de los principales productos de la economía de Santander, de manera que se logre desarrollar procesos de monografía similares, para que se logren procesos potenciales dirigidos a mejorar los procesos de producción de otros cultivos, de manera que se brinden bases para proyectos posteriores.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Osorio, Á., Ortiz, S., & Ortiz, J. (2020). Aportes de la agrobiodiversidad a la sustentabilidad de la agricultura familiar en Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(35), 1-19. Obtenido de http://fox.leuphana.de/portal/files/16176476/2992_14054_2_PB.pdf
- Adisak, S. (2020). Prediction of Pineapple Sweetness from Images Using Convolutional Neural Network. *Systems and Applications*, 21(7), 1-14. Obtenido de <http://eprints.eudl.eu/id/eprint/266/>
- Aguirre González, E., & Zuñiga Marín, J. S. (2020). Diseño de un modelo de costos basado en actividades aplicado a procesos logísticos. Caso: empresa del sector alimenticio tradicional. *Repositorio Universidad EIA*, 37(19), 1-18. Obtenido de <https://revista.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/1512>
- Alboleda, E. (2019). Pineapple maturity classifier using image processing and fuzzy. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 10(4), 830-838. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Edwin-Arboleda/publication/355189206_Pineapple_maturity_classifier_using_image_processing_and_fuzzy_logic/links/6165e6ee3851f95994f64934/Pineapple-maturity-classifier-using-image-processing-and-fuzzy-logic.pdf
- Aleph, E. (2020). Industria 4.0 en la agricultura y la ingeniería automotriz. *Innovación Educativa*, 20(2), 1-164. Obtenido de <https://www.ipn.mx/assets/files/innovacion/docs/Innovacion-Educativa-82/Innovacion-Educativa-No-82.pdf>
- Anahui Andía, J. J. (2019). Producción de Piña (Ananas comosus) Golden: experiencias del IRD Selva (UNALM) en Satipo - Junín. *Universidad Nacional Agraria de Molina*, 1-17.
- Araya, K. (2018). Aprovechamiento de los residuos de piña para la producción de celulosa nanofibrilar (NFC) y nanocelulosa cristalina (NCC). *Universidad Nacional*, 1-75. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4024>
- Azmi, M. (2018). Comprehensive Pineapple Segmentation Techniques with Intelligent Convolutional Neural Network. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 10(3), 1098-1105. Obtenido de http://eprints.utm.my/id/eprint/85839/1/FatimahShamIsmail2018_ComprehensivePineappleSegmentationTechniques.pdf
- Bacco, M. (2018). Smart farming: Opportunities, challenges and technology enablers. *IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany)*, 1-15. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8373043>
- Bajaña Alvarado, K. A. (2019). Comportamiento agronómico de la piña Ananas comosus L. variedad perolera, en cuatro distancias de siembra, en el centro de producción y prácticas Río Verde, de la UPSE, en el cantón Santa Elena. *Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 1-12. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4307>

- Bajar González, D. L., & Jove Castillo, E. L. (2020). Estudio de Tecnologías 4.0 en el Sector de Industrias Alimentarias. *Repositorio Digital - Universidad Católica de San Pablo*, 1-86. Obtenido de http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16609/1/BEJAR_GONZALE_S_DAY_EST.pdf
- Bartodziej, C. J. (2016). The concept Industry 4.0. *The Best Masters*, 1(4), 27-50.
- Betancur Gil, A. T., & Palencia Villa, A. L. (2018). Estrategias para la competitividad de la piña tipo exportación en Colombia. *Repositorio Institucional Unoversidad Agustiniana*, 1-98. Obtenido de <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/397>
- Bhat, K. (2020). Microcontroller-Based Semiautomated Pineapple Harvesting System. *International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics*, 4(5), 383-392. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-49795-8_37
- Brandherm, B., & Kröner, A. (2011). Digital Product Memories and Product Life Cycle. *Proceedings 2011 7th international conference on intelligent environments*, 3(4), 3-16.
- Camacaro Peña, M. A., & Paredes Rodríguez, A. M. (2021). Mapa de cadena de valor como una herramienta para la mejora de los procesos de cosecha y postcosecha en una empresa productora de piña. *Repositorio Coprparación Minuto de Dios*, 17(2), 226-242. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8055078>
- Caputo, D., Paiano, A., & Foltynowicz, Z. (2019). Corporative Social Responsibility for Industry 4.0. The Case Study on Italian Company Operating in Poland. *Basiq International Coference*, 11(16), 1-828.
- Cerón, G. (2020). Tan cerca y tan lejos de la agricultura 4.0 en Colombia. *Revistas Académicas - Univerisdad EAFIT*, 55(175), 1-8. Obtenido de <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/6460>
- Chaikaew, A. (2019). Convolutional Neural Network for Pineapple Ripeness Classification Machine. *16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 12(2), 1-12. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8955408>
- Cortez, Z. (2019). Modelo para el intercambio de bienes en el sector agrícola empresarial peruano utilizando las tecnologías Smart Contracts y Blockchain. *Repositorio UPC*, 1-53. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653295>
- Damianov, D., & Chukalov, K. (2016). Structural reorganization in the informational – technical system of a production machine (hybrid) for operating in the Industry 4.0. *International Scientific Journals*, 1(2), 67-69.
- Delgado Avello, K. J. (2021). Estrategias y desarrollo de la exportación de la piña Oro Miel producida en Lebrija- Santander hacia mercados internacionales. *Repositorio - Universidad Santo Tomás*, 1-78. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/38494>
- Desclee, D. (2021). Sustainability Assessment and Agricultural Supply Chains Evidence-Based Multidimensional Analyses as Tools for Strategic Decision-Making—The Case of the Pineapple Supply Chain in Benin. *MDPI*, 13(4), 1-10. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2060>

- Dholu, M., & Ghodinde, K. (2018). Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application. *2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 5(8), 1-10. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8553720>
- Farooq, M. S. (2019). A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. *New Technologies for Smart Farming 4.0: Research Challenges and Opportunities*, 5(12), 1-16. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8883163>
- Fernández, J. (2017). La industria 4.0: Una revisión de la literatura. *Desarrollo e Innovación en Ingeniería - Repositorio de la Universidad Autónoma Latinoamericana, Segunda Edición*, 1-722. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/331385353_Desarrollo_e_innovacion_en_ingenieria_ed_2/links/5c76e4ce92851c69504663b5/Desarrollo-e-innovacion-en-ingenieria-ed-2.pdf#page=370
- Fettke, P. (2013). Big Data Industrie 4.0 und Wirtschaftsinformatik. *Vortrag vom 25*, 1(11), 374-377.
- Franco, C., & Barona, G. (2018). Retos de ingeniería para la producción de piña de alta calidad en el Valle del Cauca: El caso de Bengala Agrícola. *Revista Uniandes*(47), 1-15. Obtenido de <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/full/10.16924/revinge.47.7>
- García, M. (2017). Metodología para el diagnóstico de la seguridad alimentaria y nutricional desde los gobiernos locales en un municipio. *Revista Retos*, 11(2), 1-4. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552017000200003
- Garzón Serrato, J. I. (2016). Establecimiento y manejo de un cultivo de piña en la sede de la asociación de ingenieros agrónomos del llano en Villavicencio. *Repositorio de la Unovesidad de los Llanos*, 1-68. Obtenido de <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/341/Establecimiento%20y%20manejo%20de%20un%20cultivo%20de%20pi%F1a.pdf;jsessionid=057172F6BE4FAEB68E01A90622BC5EEF5?sequence=1>
- Geisberger, E., & Broy, M. (2012). Cyber-Physical Systems. *Agenda CPS: Integrierte Forschungsagenda*, 2(9), 1-5.
- Giraldo Cerón, A. F. (2020). Tan cerca y tan lejos de la agricultura 4.0 en Colombia. *Repositorio Institucional Universidad EAFIT*, 1-74. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/17128>
- González Salazar, F. (2020). Agriculture 4.0 the advance in models and new knowledge to improve production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 844, 1-16. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/844/1/012028/meta>
- Gronau, N. (2012). Analytic manufacturing. Productivity Management. *Advange Industry*, 5(13), 5-19.
- Guerrero Corzo, E. T. (2020). Oportunidad comercial de exportar cuero vegetal colombiano hecho de fibra de hoja de piña hacia Italia. *Repositorio de la Universidad Aguatiniiana*, 1-78. Obtenido de <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1588?locale-attribute=en>

- Harris, J. (2021). Object Detection and Size Determination of Pineapple Fruit at a Juicing Factory. *Repository Open UCT*, 1-12. Obtenido de <https://open.uct.ac.za/handle/11427/35596>
- Hernández, R. (2018). Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 1-14. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662018000200455
- Huang, T.-W. (2022). Artificial Intelligence-Based Real-Time Pineapple Quality Classification Using Acoustic Spectroscopy. *Agriculture*, 12(5), 1-18. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/129>
- Jack, R. (2019). Soil pH Mapping of Pineapple Crop: A Feasibility Study using Aerial Photo. *International Conference on Computer and Drone Applications (IConDA)*, 6(5), 1-10. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9034909>
- James, J. (2021). Challenges Affecting Marketing of Horticulture Produce in Kenya: A Case of Pineapple Fruits in Olare Area in Homa Bay County. *Repositorio Digital USIU*, 1-15. Obtenido de <http://erepo.usiu.ac.ke/handle/11732/6904>
- Jenkins, M., Quesada López, C., & Jenkins, M. (2019). Sistemas de apoyo a la toma de decisiones que usan inteligencia artificial en la agricultura de precisión: un mapeo sistemático de literatura. *Risti - Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, 12(1), 1-15. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/344709670>
- Junpunya, M. (2022). Study of porous rubber pipes reinforced with waste tire fiber and pineapple leaf fiber for smart irrigation system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 4(5), 1-13. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1234/1/012004/meta>
- Kamarul Bahrin, M. A., Othman, M. F., Nor Azli, N. H., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robot. *Jurnal Teknologi - Centre for Artificial Intelligence and Robotic*, 2(7), 1-7.
- Khanna, A., & Kaur, S. (2019). Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 218-231. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169918316417>
- Kiani, F., & Seyyedabbasi, A. (2018). Wireless sensor network and internet of things in precision agriculture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(21), 1-10. Obtenido de <https://openaccess.izu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12436/958>
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521419301769>
- Koch, M., Baars, H., Lasi, H., & Kemper, H. (2010). Manufacturing execution systems and business intelligence for production environments. *AMCIS 2010*, 4(1), 1-7.
- Kurbah, F. (2021). Design and Development of the Pineapple Harvesting Robotic Gripper. *Communication and Control for Robotic Systems*, 3(4), 1-12. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-1777-5_28

- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 4(6), 239-242.
- López, N. (2021). Standardization of Traditional and Contemporary Pineapple-based Food Preparations Identified in the Municipality of Dagua, Colombia. *Journal of Culinary Science & Technology*, 5(5), 1-14. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15428052.2021.2002229>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6(2), 1-10.
- Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart factory – a step towards the next generation of manufacturing. *Manufacturing systems and technologies for the new frontier: the 41st CIRP conference on manufacturing systems*, 4(15), 115-118.
- Lui, Y. X., Shu, L., Hancke, G., & Mahfouz, A. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322 - 4334. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9122412>
- Mantravadi, S., & Møller, C. (2019). An Overview on Next-generation Manufacturing Execution Systems: How important is MES for Industry 4.0? *Procedia Manufacturing 30 - 14th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM-2018)*, 30(1), 588-595.
- Minagricultura. (2019). Cadena de la Piña. *Informe del Ministerio de Agricultura*, 1-19. Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20PI%C3%91A.pdf>
- Monostori, L., Kadár, B., Bauernhansl, T., Kumara, S., Rainhart, G., Sauer, O., . . . Ued, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, 65(2), 621-641.
- Montelone, S., Alves de Moraes, E., Faria, T. d., & Brenno. (2020). Exploring the Adoption of Precision Agriculture for Irrigation in the Context of Agriculture 4.0: The Key Role of Internet of Things. *Journal Sensor*, 20(24), 1-15. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/24/7091>
- Mooney, P. (2020). La Insostenible Agricultura 4.0. *Revista Refubien - Repositorio de la Universidad de Berlín*, 1-15. Obtenido de <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/28019>
- Navas, E. (2021). Soft Grippers for Automatic Crop Harvesting: A Review. *Sensor*, 21(8), 1-15. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/8/2689>
- Nowakowski, E., Farwick, M., Trojer, T., Haeusler, M., Kessler, J., & Breu, R. (2018). Enterprise Architecture Planning in the Context of Industry 4.0 Transformations. *IEEE 22nd Conference - Industry and And Advance Technology*, 1(4), 1-17.
- Nwauka, O., Telukdarie, A., & Enslin, J. (2018). Virtual Power Plant Basic Requirements for Integration of Distributed Energy Resources, Driven by Industry 4.0. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2(4), 1-15.
- Oleiro Araújo, S., Silva Pares, R., Barata, J., & Lidon, F. (2021). Characterising the Agriculture 4.0 Landscape—Emerging Trends, Challenges and Opportunities. *Jornal MDPI*, 11(4), 1-14. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/4/667>
- Parra Moyano, J. (2020). Blockchain y gestión de datos en el sector agroalimentario: Reducción de costes y nuevas oportunidades. *CBS Copenhagen Bussisness Scholl*,

- 1-10. Obtenido de <https://research.cbs.dk/en/publications/blockchain-y-gesti%C3%B3n-de-datos-en-el-sector-agroalimentario-reducc>
- Parrales Cedeño, E. M., & Ruiz Campaña, J. C. (2020). La cadena de suministro y la ventaja competitiva en las MiPymes de los agricultores de la provincia del Guayas. *Repositorio de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*, 1-45. Obtenido de <http://201.159.223.180/handle/3317/15570>
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13(7), 1206-1214.
- Pérez Gómez, A., Sánchez Cahuich, A. C., & Jiménez Gómez, J. (2020). Plataforma de gestión IoT mediante técnicas de industria 4.0 para agricultura de precisión. *Research in Computing Science*, 11(149), 303–315. Obtenido de https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=industria+4.0+en+agricultura+&btnG=
- Rachman, L. M. (2019). The role of drones for supporting precision agricultural management. *Sixth International Symposium on LAPAN-IPB Satellite*, 5(15), 1-4. Obtenido de <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11372/1137202/The-role-of-drones-for-supporting-precision-agricultural-management/10.1117/12.2538417.short?SSO=1>
- Rahutomo, R., Perbanga, S., Anzaludin, & Lie, Y. (2019). Artificial Intelligence Model Implementation in Web-Based Application for Pineapple Object Counting. *International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, 5(12), 1-12. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8843741>
- Raj, M., Gupta, S., & Chamola, V. (2021). A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. *Journal of Network and Computer Applications*, 187, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084804521001284>
- Rattanamahapaisan, N. (2016). Pineapple Value Chain Analysis in Klaeng, Rayong. *JSPUI*(15), 1-16. Obtenido de <http://ir.buu.ac.th/dspace/handle/1513/329>
- Reascos Pardo, J. L. (2018). Buenas Prácticas Agrícolas. *Revista de Investigación - Universidad Laica Vicente Rocaforte*, 1-10. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/03/buenas-practicas-agricolas.html>
- Reyes, N., Chaparro, F., & Oyola, C. (2018). Dificultades en la medición de los activos biológicos en Colombia. *Revista de Desarrollo Científico*, 13(26), 1-16. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2816/281658405003/281658405003.pdf>
- Rodríguez Lozano, J. M. (2020). Industria 4.0 y Sostenibilidad. *Repositorio Digital - Universidad de Jaén*, 1-52. Obtenido de http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/12963/1/INDUSTRIA_4.0_Y_SOSTENIBILIDAD_Manuel_Jess_Rodrguez_Lozano.pdf
- Rodríguez, J. (2016). Case Studies: Insights on Agriculture Innovation 2016 (IAAS Series). *MDPI*, 1-14. Obtenido de https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=xdtfDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA189&dq=difficulties+of+agriculture+4.0+pineapple&ots=RsGwXqhjtW&sig=hZLrkSSzRmg6AGVA4YNYtKOYBY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *IJIM International Journal of Interactive Mobile Technology*, 11(5), 1-10.

- Rose, D. C. (2018). Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. *Frontiers*, 1-12. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2018.00087/full>
- Roy, S. K. (2020). Genetic Algorithm based Internet of Precision Agricultural Things (IlopaT) for Agriculture. *Internet of Things*, 7(12), 1-16. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542660519300071>
- Ruiz Rodríguez, J., & Aviléz Barboza, M. (2021). Estrategias de marketing digital para la internacionalización de la pulpa de piña desde Colombia a Estados Unidos. *Repositorio Digital de la Universidad de Córdoba*, 1-86. Obtenido de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4002>
- Saa Zamorano, D. J. (2021). Análisis de la industria 4.0 en Latinoamérica y países desarrollados. *Repositorio Institucional - Universidad Cooperativa de Colombia*, 1-86. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/33593>
- Saiz, V. (2020). From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomía*, 10(2), 1-16. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/2/207>
- Sangeetha, M., Thejaswini, G., & Soba, A. (2021). Design and Development of a Crop Quality Monitoring and Classification System using IoT and Blockchain. *Journal of Physics: Conference Series*, 4(8), 1-47. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1964/6/062011/meta>
- SENA. (2017). Cultivo de Piña. *SENA - Regional Norte de Santander*, 1-35. Obtenido de https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5505/cultivo_de_pi%C3%A1.PDf;jsessionid=C43DB1AEE4552DE5F5719115EC5B1379?sequence=1
- Shu, H. (2019). The Situation and Challenges of Pineapple Industry in China. *Agricultural Science*, 10(5), 1-6. Obtenido de https://www.scirp.org/html/7-3002407_92640.htm
- Silva Pares, R., Parreira Rocha, M., & Rocha, A. D. (2016). Selection of a data exchange format for industry 4.0 manufacturing systems. *IECON 2016 - 42nd Annual Conference*, 4(21), 1-5.
- Silveira, F. (2021). An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantage. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 1-14. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169921004221>
- Sora Valásquez, C. K. (2021). Agricultura Y Conflicto Armado En Colombia Desde El Siglo XX Hasta La Actualidad. *Repositorio Digital Universidad de Cundinamarca*, 1-85. Obtenido de <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3802>
- Soto Sadano, D. (2019). Optimización de la trazabilidad del aceite de palma por medio de blockchain y IoT. *Repositorio Institucional Pirhua*, 1(5), 1-83. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4368>
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40 (4), 536-541.
- Tabarés Gutierrez, R. (2019). La fabricación abierta: ¿un camino alternativo a la industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 14(41), 263-285. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/924/92460273016/92460273016.pdf>
- Thuc Anh, N. P. (2020). Developing Robotic System for Harvesting Pineapples. *International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, 5(7). Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9310079>

- Tovar Soto, J. P., Solórzano Suárez, J. d., Badillo Rodríguez, A., & Rodríguez Cainaba, G. O. (2019). Internet de la Cosas Aplicado a la Agricultura: Estado Actual. *Repositorio de la Universidad San Luis Amigo*(22), 1-15. Obtenido de <https://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/3253>
- Trivelli, L., Apicella, A., Chiarello, F., Rana, R. F., & Tarabella, A. (2019). technological connections in the agrifood sector. *British Food Journal*, 1-10. Obtenido de <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BFJ-11-2018-0747/full/html>
- Vargas Neira, Á. R. (2021). Big data analytics aplicada en la integración de datos de internet de las cosas, caso de uso: Agricultura de precisión. *Repositorio Digital UTMACH*, 1-75. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16927>
- Wandel Marroquín, M. (2021). Nuevas tecnologías y agricultura 4.0: Impacto en los recursos humanos de la industria agrícola en Centroamérica. *Repositorio de la Universidad Politécnica - Revista Comillas*, 1-68. Obtenido de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/46846>
- Wang, Y. (2022). IoT Device Identification Using Supervised Machine Learning. *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, 25(12), 1-16. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9730354>
- Wasserbauer, M. (2019). Utilization of image analysis for description of drying characteristics of selected tropical fruits. *EMU DSPACE*, 5(16), 1-17. Obtenido de <https://dspace.emu.ee/handle/10492/4785>
- Westerlund, O. (2019). Drone Hacking with Raspberry-Pi 3 and WiFi Pineapple: Security and Privacy Threats for the Internet-of-Things. *1st International Conference on Unmanned Vehicle Systems-Oman (UVS)*, 5(1), 1-10. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8658279>
- Yahya, N. (2018). Agricultural 4.0: Its Implementation Toward Future Sustainability. *Green Energy and Technology*, 23, 124-145. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7578-0_5
- Yusof, Y. (2015). Novel Technology for Sustainable Pineapple Leaf Fibers Productions. *Procedia CIRP*, 12(24), 1-12. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114012098>
- Zhai, Z., Martínez, J., Beltran, V., & Martínez, N. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919316497>
- Zin, M. H. (2019). Automated spray up process for Pineapple Leaf Fibre hybrid biocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 177, 1-17. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836819317640>