



**TESINA FIN DE MASTER  
MASTER EN INGENIERIA AVANZADA DE PRODUCCIÓN,  
LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

**PROPUESTAS PARA REDUCIR LA INCERTIDUMBRE  
EN LA CADENA DE SUMINISTRO  
AGROALIMENTARIA**

AUTORA: IVETH PATRICIA TORRES CANTILLO

TUTOR: FAUSTINO ALARCÓN VALERO

**Curso Académico: 2017/2018**

*Dedicada especialmente a mi esposo y a mi hija por su apoyo incondicional durante este proyecto. A Dios por hacerlo posible, a mi familia que siempre ha compartido mis logros y a todos los que contribuyeron a este trabajo.*

## Índice de Contenido

1	Introducción.....	8
2	Objetivos .....	9
3	Metodología.....	10
3.1	Contextualización.....	12
4	Estado del Arte .....	13
4.1	Decisiones en la cadena de suministro Agroalimentaria.....	14
4.2	Incertidumbre en el sector Agroalimentario .....	25
4.3	Industria 4.0 en el sector Agroalimentario .....	35
4.4	Resumen del estado del arte.....	44
5	Cadena de suministro del sector Agroalimentario .....	55
6	Identificación de decisiones en el sector Agroalimentario .....	58
7	Localización de la incertidumbre en el sector Agroalimentario .....	69
8	Propuesta de aplicación del IoT en el sector Agroalimentario .....	78
9	Conclusiones.....	104
10	Bibliografía .....	107

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Cadena de Suministro Agroalimentaria. Fuente: Elaboración propia.....	55
Ilustración 2. Transformaciones básicas en la FSC. Fuente: Verdouw et al. (2010) .....	56
Ilustración 3. Sondas digitales para predicción de condiciones atmosféricas. Fuente: Web .....	80
Ilustración 4. Sensor para medir la velocidad del viento. Fuente: Web .....	81
Ilustración 5. Sensor para medir la velocidad y dirección del viento. Fuente: Web .....	81
Ilustración 6. Sensor medidor de viento, humedad y presión del aire. Fuente: Web .....	82
Ilustración 7. Aplicaciones de POS para medición de demanda. Fuente: Web .....	83
Ilustración 8. Sensores para medir temperatura, humedad y contacto en packaging. Fuente: Web .....	86
Ilustración 9. Sistema de planificación de rutas. Fuente: Web .....	88
Ilustración 10. Tacógrafo inteligente. Fuente: Web.....	89
Ilustración 11. Transmisión de datos de sensores remotos a dispositivos móviles. Fuente: Web .....	91
Ilustración 12. Sensores remotos para control de plagas y enfermedades. Fuente: Web .....	92
Ilustración 13. Dron para la aplicación de fertilizantes y pesticidas. Fuente: Web .....	93
Ilustración 14. Aplicación LPWAN para la predicción de lluvias. Fuente: Web .....	94
Ilustración 15. Sensores de ultrasonido para medición de flujo de líquido en cultivos. Fuente: Web.....	95
Ilustración 16. Sensores de humedad del suelo. Fuente: Web .....	96

Ilustración 17. Sensores y GPS en maquinaria para medir rendimiento del suelo. Fuente: Web.....	97
Ilustración 18. Mapas de rendimiento de suelos. Fuente: Web.....	98
Ilustración 19. Redes WSN para sistemas de riego inteligente. Fuente: Web .....	99
Ilustración 20. Sensores MEMS para medir estrés hídrico en las hojas. Fuente: Web .....	101
Ilustración 21. Imágenes térmicas para medir temperatura de la planta. Fuente: Roopaei et al. (2017).....	102
Ilustración 22. Aplicación en la nube basada en sistema de riego automático. Fuente: Roopaei et al. (2017).....	103

## Índice de Tablas

Tabla 1. Resumen de las decisiones del estado del arte de la FSC. Fuente: Elaboración propia .....	47
Tabla 2. Resumen de las fuentes de incertidumbre del estado del arte de la FSC. Fuente: Elaboración propia. ....	50
Tabla 3. Resumen de las aplicaciones del IoT del estado del arte de la FSC. Fuente: Elaboración propia. ....	53
Tabla 4. Relación de decisiones con aspectos claves de gestión de la FSC. Fuente: Elaboración propia. ....	61
Tabla 5. Caracterización de las decisiones en la FSC. Fuente: Elaboración propia.....	64
Tabla 6. Relación de fuentes de incertidumbre con aspectos claves. Fuente: Elaboración propia. ....	72
Tabla 7. Asociación de incertidumbre a la toma de decisiones en la FSC. Fuente: Elaboración propia. ....	75
Tabla 8. Identificación de decisiones bajo incertidumbre en la FSC para aplicación del IoT. Fuente: Elaboración propia. ....	77

## Lista de Acrónimos

ACRÓNIMO	SIGNIFICADO
IoT	Internet of Things
FSC	Food Supply Chain
APS	Advanced Planning and Scheduling
SCM	Supply Chain Management
IT	Information Technology
SC	Supply Chain
IAF	Índice de Área Foliar
CD	Centros de Distribución
RFID	Radio Frequency Identification
APP	Application
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Position System
FCM	Fuzzy Cognitive Map
EPC	Electronic Product Code
TIC	Tecnología de Información y Comunicación
DSS	Decision Support System
SMS	Short Message Service
PDA	Personal Digital Assistant
LAN	Local Area Network
M-BUS	Meter Bus
WSN	Wireless Sensor Networks
RPL	Remote Program Load
P2P	Peer to Peer
DHT	Distributed Hash Table
PHT	Hypertext Preprocessor
CMS	Content Management System
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
KPI	Key Performance Indicators
SU	Supply Unit
LU	Logistic Unit
TU	Trade Unit
CU	Consumption Unit
POS	Point of Sale
SAAS	Software as a Service
PAAS	Platform as a Service
LPWAN	Low Power Wide Area Network
LoRaWAN	Long Range Wide-area network
MR	Mapas de Rendimiento
SPG	Starwood Preferred Guest
MEMS	Microelectromechanical Systems
CPS	Cyber Physical System

## 1 INTRODUCCION

En el presente trabajo se presenta un estudio detallado sobre el sector Agroalimentario desde el punto de vista de su Cadena de Suministro; identificando que eslabones la componen, cuáles son las principales decisiones que deben tomarse, que fuentes y tipos de incertidumbre están asociadas a estas decisiones y cómo el uso del concepto de la Industria 4.0 puede ayudar a reducir el grado de incertidumbre existente y a hacer mucho más eficiente la Cadena de Suministro del sector Agroalimentario.

Por lo tanto, este trabajo está dividido en 3 grandes apartados de investigación: el primero relacionado con el estudio y caracterización de las decisiones en la Cadena de Suministro del sector Agroalimentario, el segundo relacionado con la identificación de la incertidumbre y la incidencia que tiene en la toma de decisiones y, el tercero, relacionado con el estudio de la Industria 4.0 ó Internet de las Cosas, sus principales ventajas y algunos ejemplos de aplicación en el sector Agroalimentario, que pueden ayudar a la reducción de la incertidumbre.

Finalmente, se hace una asociación de las fuentes de incertidumbre detectadas con las principales decisiones en la Cadena de Suministro para seleccionar las de mayor relevancia; a las cuales se les plantean propuestas de solución a través de aplicaciones prácticas de la Industria 4.0 para el sector Agroalimentario.

## 2 OBJETIVOS

A continuación se enumeran los principales objetivos planteados para esta investigación:

1. Identificar las principales decisiones que deben tomarse en la Cadena de Suministro en el sector Agroalimentario.
2. Identificar las principales fuentes de incertidumbre presentes en el sector Agroalimentario.
3. Indicar cómo el concepto de la Industria 4.0 puede ayudar a reducir la incertidumbre y a hacer más eficiente la Cadena de Suministro en el sector Agroalimentario.

### 3 METODOLOGIA

Esta investigación se inicia con un análisis de la literatura a través del estudio del estado del arte existente para cada uno de los tres temas que se han decidido abordar para el sector Agroalimentario: Decisiones en la Cadena de Suministro, Incertidumbre en el proceso de toma de decisiones e Industria 4.0.

La metodología empleada consistió en la búsqueda de artículos científicos en la web en las páginas ScienceDirect, Google Scholar y Scopus Fecyt; usando las palabras clave: process, decision, uncertainty, risk, supply chain, network, agrifood, agriculture, agricultural, food industry, internet of things, industry 4.0, IoT y smart farm. Se emplearon cadenas de búsquedas como resultado de la combinación de las palabras clave, como ejemplo de algunas de ellas se puede mencionar: “process+agrifood+supply chain”, “decision + agriculture +network”, “uncertainty+agrifood+supply chain”, “risk + food industry”, “Internet of things+agrifood”, “Industry 4.0 +agricultural”, “Smart farm+Internet of things”; entre otras.

De los resultados obtenidos se descargaron en total 72 artículos científicos que fueron analizados teniendo en cuenta que en el título o en el abstract tuvieran todas o al menos 2 de las palabras clave incluidas en la cadena de búsqueda, que representaran una referencia directa al sector agroalimentario, que incluyeran aplicación a un caso de estudio específico y que proporcionaran temas de estudio variados. Después de desechar los artículos que menos cumplían con estos criterios, se seleccionaron para este trabajo 32 artículos; 12 para el análisis del estado del arte de las decisiones en la cadena de suministro del sector agroalimentario, 10 para el análisis del estado del arte de la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones en el sector agroalimentario y 10 para el análisis del estado del arte de la Industria 4.0 en el sector agroalimentario.

Con la investigaci3n de las Decisiones en la Cadena de Suministro se busca identificar qu3 actores la componen, qu3 procesos relevantes forman parte de ella, cu3les son las decisiones m3s importantes que deben tomarse, qui3n las toma, cu3ndo, d3nde y para qu3. Al final de este estudio se debe lograr definir una lista de las principales decisiones en la Cadena de Suministro del sector Agroalimentario; para lo cual se tendr3 en cuenta el n3mero de citas en los artculos y la valoraci3n, mediante el m3todo de factores ponderados, de su impacto en factores claves del proceso de gesti3n. Esto servir3 como punto de partida para el enfoque y el desarrollo de los otros 2 temas de investigaci3n anteriormente mencionados.

Con el estudio del estado del arte sobre la incertidumbre en el sector Agroalimentario, se pretende identificar las principales fuentes de la incertidumbre en este sector; tambi3n para esto se tendr3 en cuenta el n3mero de citas en los artculos y la valoraci3n, mediante el m3todo de factores ponderados, de su impacto en factores claves del proceso de gesti3n. Las conclusiones obtenidas en esta parte de la investigaci3n se relacionar3n, a trav3s de una tabla, con la lista de las principales decisiones en la Cadena de Suministro del sector Agroalimentario. Ello permitir3 determinar qu3 fuentes de incertidumbre en la toma de decisiones tienen un mayor impacto a lo largo de la cadena, ya sea porque requieren de la intervenci3n de m3s actores, tienen una alta incidencia sobre el consumidor final, generan un impacto directo sobre los costos, el rendimiento del cultivo o sobre la calidad del producto final.

Con la investigaci3n sobre la Industria 4.0 se pretende lograr primero una conceptualizaci3n general y luego relacionarla directamente con el sector Agroalimentario, identificando las principales ventajas que puede ofrecer al sector y unos ejemplos ya documentados de aplicaci3n real. Con esto se busca dar una propuesta de soluci3n para los problemas detectados en la toma de decisiones en el sector Agroalimentario debido a la presencia de incertidumbres como

el clima, los insectos, las condiciones del suelo, la demanda, el precio del mercado, etc., que no pueden ser previstas ni controladas en el desarrollo normal de las actividades inherentes a este sector, sino que requerirían de tecnología más avanzada para su control y minimización.

### **3.1 Contextualización**

La Unión Europea es considerada la mayor productora de fruta, especialmente en lo relacionado con peras, manzanas, frutas cítricas y con grandes semillas. Los países de mayor producción son España, Italia, Francia y Grecia; con una producción dominante de frutas cítricas (especialmente la naranja), duraznos y uvas. Verdouw et al. (2010)

Se han realizado varias investigaciones asociadas a la Cadena de Suministro de este sector, con el fin de identificar los diferentes actores que intervienen, las variables externas que le afectan, las decisiones que se toman y el impacto que estas pueden tener en la calidad del producto, su distribución, conservación final y la satisfacción del cliente.

La naturaleza del sector Agroalimentario en sí misma, encierra unas características muy especiales que hacen que sea necesaria la implementación de sistemas integrados de gestión para su adecuado control. Dentro de estas características pueden mencionarse: Largos tiempos de producción, producción estacional, variaciones en calidad entre productores y lotes, cortos tiempos de entrega requeridos para los productos frescos y demandas especiales de embalajes. Verdouw et al. (2010)

## 4 ESTADO DEL ARTE

En este apartado se presenta un análisis de los artículos científicos seleccionados de acuerdo a la metodología planteada anteriormente; para los tres temas que se revisan en esta investigación en el sector Agroalimentario, que son las decisiones en la cadena de suministro, la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones y la aplicación de la Industria 4.0 o internet de las cosas (IoT).

Al inicio de estos tres primeros subapartados se presenta una introducción sobre generalidades del tema a tratar, de manera que se pueda conocer claramente cada concepto, sus principales características y su conexión con el ámbito empresarial; para finalmente derivar en su aplicación en el sector Agroalimentario objeto de este trabajo.

El planteamiento de la revisión de la literatura consiste en destacar en los artículos analizados, el tema que han abordado los autores, los objetivos planteados, la principal contribución, los beneficios o limitaciones de los modelos, marcos de referencia o herramientas propuestas, las conclusiones de los trabajos y las futuras líneas de investigación propuestas.

En el cuarto subapartado se presenta un resumen del estado del arte para cada uno de los temas abordados, en donde se muestra qué decisiones, fuentes de incertidumbre y aplicaciones del IoT han sido analizadas en las investigaciones; después como complemento, se presenta esta relación en una tabla resumen con el fin de identificar cuáles de ellas han sido más incluidas en sus objetos de estudio.

Lo que se espera alcanzar al final de este análisis, es poder asociar la incertidumbre a la toma de decisiones relevantes en el sector Agroalimentario y hacer un planteamiento de aplicación del IoT como soporte para mejorar la toma de decisiones, reduciendo la incertidumbre

que pueda estar asociada a ella. Y por tanto, mejorar la eficiencia de los procesos.

#### 4.1 Decisiones en la cadena de suministro Agroalimentaria

El proceso de toma de decisiones en cualquier proceso de negocio tiene varias implicaciones, ya que a partir de ellas surgen las propuestas de inversión, modernización, planes de producción, asignación de mano de obra, unidades de agregación, sistema de distribución, condiciones de almacenamiento, acuerdos de colaboración, outsourcing, entre otras.

A la hora de tomar las decisiones los empresarios suelen enfrentarse a entornos diferentes debido al grado de disponibilidad de información; presentándose decisiones en caso de **certeza**, de **riesgo** y de **incertidumbre**.

Las decisiones en caso de **certeza** se caracterizan porque se tiene una opción única para cada alternativa y se escoge una de ellas de acuerdo con los objetivos planteados, teniendo un criterio de valor para su medición. Las decisiones en caso de **riesgo** tienen más de un resultado para cada alternativa y se opta por calcular su probabilidad de ocurrencia mediante mediciones y estimaciones, que pueden ser a priori o empíricas.

Las decisiones en caso de **incertidumbre** admiten también más de un resultado para las alternativas, pero no tienen probabilidades; por lo que su grado de complejidad es mayor. Para estos casos se prevé primero en forma subjetiva los resultados y luego se usan unos criterios de racionalidad para soportar la decisión, como el de Laplace, el optimista, el pesimista o de Wald, el de intermedio o de Hurwicz y el de los mínimos lamentos o de Savage.

En esta investigación se plantea hacer un análisis de las principales decisiones que se toman en la cadena de suministro del sector Agroalimentario, para lo cual se ha hecho una revisión de la literatura relacionada con este tema, la cual se resume a continuación.

Ahumada and Villalobos (2011), reconocen en su artículo que la rentabilidad de los productores en el sector Agroalimentario depende en gran medida del manejo de la planeación a corto plazo durante el período de cosecha y que se ve afectada por factores como los costos laborales, la preservación del valor de los cultivos y el uso del modo de transporte que logre el mejor equilibrio entre tiempo y costo para garantizar la calidad del producto. El principal objetivo de los autores es presentar un modelo para tomar decisiones de **recolección, envasado y distribución** con el objetivo de maximizar los ingresos del productor; teniendo en cuenta la disponibilidad de mano de obra, la dinámica de precios y los efectos variables del clima y la biología de las plantas.

El principal beneficio de esta investigación es que proporciona un **modelo** que puede ayudar al productor a tomar decisiones en medio de entornos complejos y cambiantes, logrando maximizar sus ingresos. El modelo planteado puede servir como el primer paso para desarrollos adicionales en esta área, ya que aborda muchos de los requisitos básicos en la planificación a corto plazo para los productos frescos.

En el caso de estudio planteado para el cultivo de tomates y pimientos, se pueden resaltar requisitos de calidad relacionados con la estimación de la evolución del color del fruto durante su desarrollo, mediante funciones planteadas en el modelo que ayudan al agricultor a la toma de decisiones sobre el mejor momento para la **recolección**, especificando que productos recolectar, cuando y con qué frecuencia; de forma que se garantice llevar al consumidor el producto tal como lo requiere.

El modelo propuesto por los autores también incluye un enfoque operacional para la toma de decisiones de **almacenamiento, envasado y transporte**, considerando centros de distribución y 3 modos de transporte (camión, tren y avión), logrando estimar que variables deben combinarse para satisfacer las condiciones de calidad y tiempo de entrega del mercado.

En materia de Food Supply Chain (FSC) también se han abordado temas relacionados con la planificación de la producción, esto ha sido investigado por Lütke Entrup et al. (2005), quienes plantean que Sistemas avanzados de Planificación y Programación (APS) al ser impulsados por la Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) y la Tecnología de la Información (IT), permiten optimizar toda la red de suministro mediante la integración de varios sitios de producción, centros de distribución, proveedores y clientes.

Por tanto, en línea con el trabajo de Ahumada and Villalobos (2011), se considera válido reconocer la **planificación de la producción** como una decisión clave en el sector Agroalimentario, ya que permite determinar cuándo cosechar, recolectar y que combinación de ciclos de producción llevar a cabo para ofrecer productos al consumidor en forma continuada y con igual calidad durante todo el año.

Sin embargo, estos autores reconocen que el uso de APS es bajo debido a que las empresas agroalimentarias no están en disposición de cubrir todos los requisitos, como por ejemplo la limitada vida útil de los productos que influye directamente en las tasas de desecho de las existencias, los niveles de inventario y la tendencia de compra de los consumidores.

Estos autores definen una lista de requisitos para el sistema APS y desarrollan modelos para tres industrias de estudio: Fábrica de yogurt, salchichas y productos de aves de corral. El objetivo que se persigue con estos modelos es permitir la propagación de la vida útil de las materias primas y

productos intermedios a la vida útil de los productos finales; la asignación de dos diferentes ciclos de vida a un lote de producción y la priorización de productos según su vida útil; para así lograr que la producción de productos más frescos y se alcance una ventaja competitiva en el mercado.

Una de las principales contribuciones de este estudio es un análisis completo de los requisitos de planificación de las industrias de alimentos frescos y el soporte ofrecido a las decisiones por los sistemas APS.

Tsolakis et al. (2014), presentaron una investigación cuyo objetivo era analizar la toma de decisiones jerárquica integral en FSC y presentar una taxonomía crítica del actual estado del arte; en el trabajo se menciona que se deben desarrollar estrategias para satisfacer la demanda del sector, las regulaciones, los cambios cada vez mayores de estilo de vida y preferencias.

Se plantean las siguientes cuestiones críticas a abordar: las características únicas de los FSC que las diferencian de las redes tradicionales, las decisiones que deben tomarse en niveles estratégicos, operacionales y tácticos, las políticas que son necesarias para asegurar la sostenibilidad de FSC y las innovaciones necesarias para fomentar los avances y la red.

El estudio presenta una lista de decisiones en FSC, entre las que se pueden mencionar: **Selección de tecnologías agrícolas, decisiones de inversión, fomento de relaciones de asociación en FSC, configuración de la red en la SC, establecimiento de sistemas de medida de rendimiento, aseguramiento de la sostenibilidad, adopción de políticas para la gestión de la calidad, planeación de las operaciones de cosecha y de las operaciones logísticas, decisiones de apoyo a la seguridad alimentaria mediante la transparencia y la trazabilidad.**

Estos autores concluyen que se debe reconocer la importancia de la jerarquía del proceso de toma de decisiones, del aumento del flujo de bienes e información aguas arriba y abajo de FSC y de la integración horizontal a lo largo de toda la red. También se resalta que la toma de decisiones en FSC tiene una naturaleza estocástica y dinámica y que, aunque ha sido trabajada por muchos investigadores, se observa falta de enfoques integrados para el diseño y planificación de dichas redes.

La principal contribución de este trabajo es que proporciona una guía sistémica tanto a los investigadores como a los profesionales, en sus esfuerzos en pro del desarrollo y la gestión eficiente de las FSC sostenibles.

De igual forma, la revisión de la literatura hecha por Shukla and Jharkharia (2013), muestra que sigue en aumento el interés por la FSC, pero que está muy fragmentada preocupándose solo por la satisfacción de los consumidores y la maximización de los ingresos, dejando de lado otras variables de interés como la previsión de la demanda y la integración en la cadena.

El objetivo de este documento es abordar los principales problemas operacionales que generan residuos post-cosecha en frutas, flores y hortalizas; dando lugar a la identificación de decisiones relevantes que deben ser tomadas por los agricultores al enfrentarse a estas dificultades, como son: **previsión de la demanda, planeación de la producción, gestión del inventario**, temas relacionados con el **transporte** y otros (que incluyen relación proveedor-comprador y **actividades ecommerce**).

Estos autores después de hacer una segmentación de la literatura revisada, concluyen que existe falta de intercambio de información entre los distintos agentes de la FSC, lo que lleva a un desajuste de la demanda y la oferta. Se menciona que el **pronóstico de la demanda** debe estudiarse a nivel desagregado debido a la naturaleza estacional y perecedera

del sector agroalimentario y a la diferencia en complejidad entre canales de venta organizados y los que no lo están.

Otro de los problemas detectados es que la demanda del consumidor generalmente no se considera en el modelado de las decisiones de **planificación de producción**; las cuales se enfocan principalmente en el uso de tierras de cultivo, asignación de recursos, etc. Y se presta poca atención a las pérdidas debidas a una cosecha ineficiente. También concluye que la literatura sobre **transporte** muestra mayor interés en la reducción del costo total que en las pérdidas post-cosecha.

Finalmente se reconoce que los hábitos de consumo y el clima de cualquier lugar juega un papel importante en la decisión de la importancia relativa de los productos agroalimentarios para esa región en particular.

La contribución de este artículo es que proporciona un marco y una metodología para a los gerentes e investigadores para la solución de problemas en FSC, sugiriendo una combinación de herramientas y técnicas.

Rong et al. (2011), analizan en su estudio la integración de la calidad de los productos alimenticios frescos con las decisiones en **producción** y **distribución** en la FSC; a través de un modelo de programación lineal de enteros mixtos. La calidad está relacionada con el control de temperatura a lo largo de toda la Cadena de Suministro.

El enfoque combina la toma de decisiones sobre cuestiones logísticas tradicionales, tales como los **volúmenes de producción** y los **flujos de transporte** con las decisiones de **almacenamiento** y **temperaturas de transporte**; para así describir la degradación de la calidad de los productos alimenticios. Los autores aplican este modelo a un caso de estudio para mostrar su efectividad en situaciones particulares.

La principal contribución de este trabajo radica en la inclusión de la calidad de los productos en el modelado de la FSC y en la diferenciación de los flujos de productos basados en la calidad del producto. El modelo apoya la toma de decisiones tácticas a medio plazo, en los sistemas de producción y distribución en la industria alimentaria.

En los estudios sobre FSC se puede mencionar también la investigación de Ahumada and Villalobos (2009), la cual tiene como objetivo la revisión de las principales contribuciones en el ámbito de las decisiones de **planificación de la producción** y la **distribución** de los productos agroalimentarios a base de cultivos agrícolas. Se centran en modelos que se han implementado con éxito, los que luego clasifican según características como los enfoques de optimización, el tipo de cultivo modelado y el alcance de los planes. Esto les permitió a los autores diagnosticar algunos de los requisitos futuros para modelar la FSC.

Los resultados de esta investigación muestran que los modelos integrados planteados son especialmente útiles para productos perecederos y que ayudan a los productores a planificar mejor las actividades que pueden representar ahorros sustanciales y mayor eficiencia. Sin embargo, se reconoce que en los modelos de planificación no se incorpora la realidad estocástica y la vida útil presentes en los diferentes niveles de la Cadena de Suministros, lo cual genera un gran problema debido a que estas características son esenciales para mantener la calidad y frescura de los productos perecederos. También se menciona que se encuentra un número limitado de modelos para la planificación operativa.

La contribución de este trabajo radica en la inclusión de modelos operativos que integran decisiones de **producción y distribución**. La necesidad de tales modelos logísticos ha promovido la aparición del sector de la "Logística de Agronegocios", que estudia el impacto de los problemas logísticos en FSC.

El trabajo de investigación de Amorim et al. (2016), desarrolla un marco integrado para tomar decisiones sobre la **selección de proveedores**, la **planificación de la producción** y la **planificación de la distribución** en una industria de alimentos procesados.

Estos autores proponen un modelo de programación en serie de dos etapas para la selección de proveedores: la primera relacionada con decisiones sobre la **marca del producto** y las **compras anticipadas**, y la segunda relacionada con decisiones sobre **compras al contado**, **planificación de la producción** y de la **distribución**.

Estos autores, además, plantean y comparan varios métodos de solución: el algoritmo clásico de descomposición de Benders, el de descomposición de Benders de varios cortes y el modelo monolítico; siendo el segundo de ellos el que mostró mejores resultados.

Las conclusiones de la investigación resaltan que, sólo tomando un enfoque tan integrado de los niveles táctico y estratégico, es posible tomar mejores decisiones con respecto al **aprovisionamiento de materias primas** perecederas para producir productos alimenticios procesados.

Como futura fuente de investigación, se plantea mejorar los aspectos realistas de los modelos, por ejemplo, considerando los costos de instalación y la desintegración de la calidad de las materias primas a lo largo del proceso de envejecimiento.

En el artículo Hsiao et al. (2010), se plantea como objetivo presentar un marco de referencia para la toma de decisiones en los procesos de **subcontratación de actividades logísticas**. Su enfoque diferencia 3 niveles de subcontratación: uno a nivel de decisiones de actividades básicas como **almacenamiento y transporte**; el segundo a nivel de decisiones de actividades de valor añadido como **gestión y control de actividades logísticas** y el tercero a

nivel de decisiones estratégicas como el **diseño de la red de distribución**.

La metodología empleada en esta investigación incluye revisión de la literatura, estudio de 3 casos de fábricas de alimentos y aplicación de una encuesta; esto con el objetivo de identificar cuáles son los factores que inciden en que una empresa decida externalizar todas o parte de sus actividades logísticas. Como resultado del estudio, los autores concluyen que existen 3 factores que tienen mayor influencia en la decisión de **subcontratación**: costes, incidencia en el *core business* y la estructura de la cadena de suministro.

La limitación de este trabajo es que está basado en el estudio de 3 empresas pequeñas, que pueden no reflejar adecuadamente las generalidades de este concepto. Su principal contribución es que propone un marco de referencia que apoya la toma de decisiones de externalización de actividades logísticas para el sector alimentario.

Por otro lado, el trabajo de Ala-Harja and Helo (2014), analiza 3 casos de decisiones en el diseño de la cadena de suministro del sector agroalimentario en lo relacionado con la **selección de pedidos, transporte, almacenamiento y distribución** desde un enfoque ecológico; usando una medida de rendimiento y comparando diferentes escenarios con indicadores ambientales y financieros.

Como resultado de esta investigación, se determinó que existen 3 grupos de decisiones: primero las relacionadas con la estructura de la cadena de suministro (ejemplo: **fábricas centralizadas** o **centros de distribución**), las cuales requieren grandes inversiones pero permiten tener un impacto significativo en la eficiencia operacional y en el control de las emisiones; segundo las relacionadas con los medios logísticos que incluye el **modo de transporte** y el **tipo de embalaje** utilizado (ejemplo: camiones de diesel a gas, tipo y tamaño de embalaje reciclable), éstas implican inversiones específicas y depende de los volúmenes de carga transportados; y tercero

las decisiones relacionadas con la planificación y el tiempo (ejemplo: variación en **frecuencia de entrega** y **planificación de la ruta de los vehículos**), éstas son consideradas mecanismos de control y herramientas de apoyo a las decisiones, que requieren menos inversiones por lo que no están ligadas al volumen de carga.

La principal contribución de los autores es que muestra un marco de referencia de decisiones en la cadena de suministro del sector Agroalimentario, relacionadas con sus indicadores de desempeño y mostrando el impacto que tendrían en la eficiencia operacional y en las emisiones.

Otro estudio relacionado con las decisiones en la cadena de suministro del sector Agroalimentario es el de Akkerman and van Donk (2008), que plantea el uso de una herramienta en Excel para analizar el efecto de las decisiones de **planificación y parámetros de producción** en las pérdidas de productos, mediante la comparación de diferentes escenarios en una fábrica lechera como caso de estudio.

Los resultados obtenidos muestran que grandes lotes en horizontes de planificación mayores tienden a reducir las pérdidas de producción, además resalta la importancia del efecto de la interacción entre las líneas de envasado, su comportamiento de ruptura, el procesamiento de la línea y las decisiones de **almacenamiento** de producto en proceso.

Con la herramienta propuesta, los autores evalúan el rendimiento de la planta y su relación con el patrón de la demanda, los lotes de producción y el proceso de planificación.

Su principal contribución es que la herramienta desarrollada puede adaptarse fácilmente a otras empresas y sistemas de producción; aunque se reconoce que como futura línea de investigación se podría estudiar el comportamiento de ruptura estocástico de una línea de envasado, para analizar el

efecto de una fuerte variación en la cantidad de pérdidas de productos y su incidencia sobre la reutilización del producto.

Por otra parte, en el estudio de Ahumada et al. (2012), se presenta un modelo de planificación estocástico aplicado a una empresa en México de productos frescos y que simula varios escenarios con variaciones de clima y de demanda, para probar la solidez de las decisiones de **planificación y distribución**; cuando desarrolla sus planes de crecimiento.

La aplicación propuesta incorpora las decisiones de **transporte, las políticas de plantación, almacenamiento y distribución** que permitan cultivos de calidad, con la vida útil adecuada para llegar al cliente adecuado en la cadena de suministro alimentaria.

El modelo resultante produce una solución que es significativamente diferente a la de un modelo determinístico y proporciona resultados mejores cuando se trabaja con datos reales de la siguiente temporada y cuando se prueba usando una simulación de 50 escenarios; dando como resultado un plan que puede adaptarse más a las preferencias de riesgo de los diferentes productores.

Van Wezel et al. (2006), en su investigación sobre las decisiones de **flexibilidad en la planificación de la producción** consideran que es importante equilibrar la producción con un rendimiento flexible y que esto suele verse limitado por las características del propio proceso productivo y por procedimientos organizativos relacionados. Los autores analizan casos particulares de la industria alimentaria y proponen un marco de planificación que relaciona los eventos del proceso con la forma en que se estructuran las decisiones en la organización. Esto hace referencia a eventos provenientes del cliente, el producto, el proceso, el personal y la maquinaria; y a decisiones relacionadas con las fases del proceso de planificación como **solicitar materia prima, asignación de capacidad a familia de productos, inicio y finalización de la planificación, inicio de la ejecución de la**

## **planificación, preparación de la producción e inicio de la producción.**

En el estudio, se concluye que las empresas no manejan la planificación de eventos adecuadamente y mucho menos si son inesperados; por lo que en su marco proponen que además de analizar los problemas de reprogramación con sistemas avanzados de planificación y con algoritmos de reprogramación; se deben organizar las tareas de planificación de tal forma que se pueda reaccionar adecuadamente a los eventos; para lo cual se deben planificar las decisiones dentro de una jerarquía y así evitar que el proceso productivo se convierta en un cuello de botella para la flexibilidad.

Como futura fuente de investigación, se menciona que se pueden realizar estudios para demostrar en qué medida el proceso específico y las características del mercado determinan la importancia de la planificación de la flexibilidad en un entorno productivo.

### **4.2 Incertidumbre en el sector Agroalimentario**

La **probabilidad** es planteada como un estudio o estrategia que permite estimar la frecuencia con la que se obtiene un resultado determinado al realizar pruebas aleatorias en un entorno controlado y donde se conocen todos los posibles resultados. En las empresas, cada vez tiene más relevancia la aplicación de métodos para el cálculo de probabilidades, ya que permite la estimación de ocurrencia de eventos de alto impacto, para esto es necesario tener la mayor cantidad de datos posible y contar con modelos matemáticos o software que permitan hacer más precisos los resultados alcanzados; siendo de gran ayuda para los procesos de planificación estratégica.

El **riesgo** hace referencia a la probabilidad de que ocurra un evento desfavorable, produciéndose de forma diferente a como había sido previsto. A nivel organizacional,

puede decirse que la presencia del riesgo desencadena acontecimientos que van en perjuicio del correcto desempeño del negocio, de sus resultados y de su rentabilidad. Dentro de los **tipos de riesgo** se pueden mencionar, riesgo laboral, geológico, financiero, biológico, asegurable, no asegurable, estáticos, dinámicos, entre otros.

Es importante que las empresas hagan una adecuada **gestión de riesgos**, la cual implica identificarlos, evaluarlos y controlarlos. Con esto es posible determinar correctamente cuál es su impacto financiero y operativo, y también obtener la información adecuada para seleccionar las herramientas para la administración, control y minimización de dichos riesgos.

La **incertidumbre** puede ser definida como una duda, falta de seguridad o de certeza de cómo van a suceder los acontecimientos en el futuro, ya sea cercano o lejano. Existen varios grados de incertidumbre, probable (el suceso ocurrirá con certeza), posible (el suceso puede ocurrir) y remota (no hay indicios de que ocurra el suceso).

La forma en que se aborde la presencia de incertidumbre, puede conducir al éxito o al fracaso en un determinado proceso de negocio. El primer paso para gestionar la incertidumbre es identificar cuáles son sus fuentes; existen fuentes del entorno, que son las que afectan la viabilidad del modelo de negocio; fuentes del proceso, que son las que perjudican la ejecución del modelo de negocio; y fuentes de información, que son las que influyen en la toma de decisiones de valor en el modelo de negocio.

Al hablar de incertidumbre también es importante conocer los **tipos de incertidumbre** que hay; entre los que se pueden mencionar cinco tipos: incertidumbre en la medición, en el proceso, en el modelo, en la estimación y en la implementación.

Para el caso particular de esta investigación, se abordará el estudio de la incertidumbre en el sector Agroalimentario; empezando con la revisión del estado del arte que se muestra a continuación.

Yanes-Estévez et al. (2010), en su artículo de investigación, desarrollan un diagnóstico del entorno de la cadena de suministro del sector agroalimentario en las Islas Canarias, según las percepciones de sus miembros en lo relacionado con la **incertidumbre medioambiental**, entendida como la falta de información de entorno externo. Para llevar a cabo este estudio se aplicó un cuestionario según la metodología de Rasch.

La metodología seguida por los autores consistió en estimar la medida de las percepciones de la complejidad y el dinamismo del ambiente, estimar la medida del nivel de percepción de incertidumbre de las variables y obtener un mapa que refleje ambas medidas para cada uno de los actores de la cadena de suministro: Agricultura, industria agroalimentaria y distribución.

Como resultado de la investigación, se concluye que las principales **fuentes de incertidumbre** son la **demandas** y los **competidores**; y que, de los tres actores de la red, la agricultura es la que mayor riesgo de incertidumbre presenta, siendo más estable el sector de la distribución.

Su principal contribución es que proporciona información que sirve de motor para procesos de cooperación vertical y horizontal en la cadena de suministro. Una futura fuente de investigación es el análisis de la probabilidad de que cada empresa perciba cada variable ambiental como más o menos complejidad o dinámica.

Otro estudio relacionado con la incertidumbre es el de Ahumada et al. (2012), que presenta un modelo de planificación estocástico que incorpora en la industria de productos frescos incertidumbres debido a la **variabilidad del**

**clima** y la **demanda**, cuando desarrolla planes de crecimiento y distribución. El modelo es aplicado a una empresa en México y simula varios escenarios para probar la solidez de las decisiones de planificación.

Con el modelo propuesto, los autores buscan que el agricultor pueda conseguir cultivos de calidad, con la vida útil adecuada para llegar al cliente adecuado en la cadena de suministro alimentaria.

El modelo resultante produce una solución que es significativamente diferente a la de un modelo determinístico y proporciona resultados mejores cuando se trabaja con datos reales de la siguiente temporada y cuando se prueba usando una simulación de 50 escenarios; dando como resultado un plan que puede adaptarse más a las preferencias de riesgo de los diferentes productores.

Como futura fuente de investigación, los autores plantean evaluar los efectos de algunos métodos de reducción de la incertidumbre como nuevas técnicas de producción, mejores variedades de semillas y agricultura protegida.

Por su parte, Amorim et al. (2016), en su trabajo de investigación desarrollan un marco integrado para tomar decisiones en una industria de alimentos procesados bajo incertidumbre.

En el estudio se identifican, como fuentes de incertidumbre, el **tiempo de entrega**, la **disponibilidad**, el **precio al contado** y la **demanda** de los clientes, que depende de la edad del producto vendido; las cuales son contempladas en el modelo matemático propuesto. Los autores además plantean y comparan varios métodos de solución: el algoritmo clásico de descomposición de Benders, el de descomposición de Benders de varios cortes y el modelo monolítico; siendo el segundo de ellos el que mostró mejores resultados.

Las conclusiones de la investigación resaltan que sólo tomando un enfoque tan integrado de los niveles táctico y estratégico, es posible tomar mejores decisiones con respecto al aprovisionamiento de materias primas perecederas para producir productos alimenticios procesados, al identificar y controlar mejor las fuentes de incertidumbre existentes.

Como futura fuente de investigación, se plantea mejorar los aspectos realistas de los modelos, por ejemplo, considerando los costos de instalación y la desintegración de la calidad de las materias primas a lo largo del proceso de envejecimiento.

Dalla et al. (2015), llevan a cabo una investigación sobre la producción del trigo en Italia y la incidencia del clima en su rendimiento. Para ello, desarrollan una herramienta operativa para ofrecer pronósticos tempranos del rendimiento final, con el objetivo de minimizar la incertidumbre relacionada con la **producción de los cultivos**.

El **impacto climático** como fuente de incertidumbre sobre el rendimiento y la capacidad del índice de área foliar (IAF) para describir las influencias de las variables meteorológicas en la cosecha, se evaluaron a través del modelo CERES-trigo en un análisis a largo plazo (56 años) sobre el crecimiento y la producción del trigo en la Toscana, Italia.

Con este análisis, los autores pudieron aislar los principales componentes del sistema de cultivo y medio ambiente con una capacidad de predicción del rendimiento, de las potenciales influencias del mejoramiento tecnológico en el sector agrícola.

Con este trabajo se concluye que, con la integración del índice de predicción y con las tecnologías de teledetección, se abrirán oportunidades de interés para las aplicaciones operacionales a diferentes escalas (de la agricultura a la regional), además la realización de un sistema automatizado

de adquisición de datos a partir de fuentes de datos satelitales será una posibilidad realista para aplicaciones de agricultura específicas del sitio.

Otro de los estudios analizados fue el de Nguyen-the et al. (2016), en el que se plantea el análisis de la seguridad, sostenibilidad y de los riesgos de contaminación en los sistemas alimentarios de productos frescos. Los autores estudian cómo las medidas tomadas para garantizar la seguridad interactúan con otros objetivos de sostenibilidad, relacionando esta última con la posibilidad de controlar el impacto de ciertas fuentes de incertidumbre como los **predadores de plagas**, las **inundaciones**, la **erosión del suelo** y el **nivel de purificación del agua** de escorrentía.

En este trabajo también se evalúan las consecuencias para la seguridad en la producción enfocándose en los **riesgos de contaminación por el agua**, el **suelo**, el **medio ambiente** y las **poblaciones vivas**. Se concluye que el uso de la tecnología puede ayudar a resolver algunos problemas de seguridad de los productos frescos y avanzar hacia una mayor sostenibilidad; sin embargo se aclara que esto puede verse afectado por las limitaciones socioeconómicas de algunos sistemas agroalimentarios y por la falta de nuevos enfoques de gestión de riesgos en las empresas.

Como futura fuente de investigación, se plantea desarrollar un sistema de certificación de la seguridad en la implementación de prácticas de producción relacionadas con reducir la exposición de los productos frescos a fuentes de incertidumbre potenciales de patógenos.

Blanco et al. (2017), en su trabajo de investigación, presentan una evaluación regionalizada de la incertidumbre sobre los efectos del **cambio climático** en la agricultura, para el horizonte temporal de 2030, que cubre toda la Unión Europea, al tiempo que se contabiliza la retroalimentación del mercado a través de mercados internacionales.

Para este estudio se definieron varios escenarios de simulación con variaciones en las proyecciones y suposiciones climáticas sobre el grado de fertilización del carbono. Estas simulaciones mostraron que los efectos de la productividad de los cultivos están en gran medida determinados por el grado de fertilización, que genera disminución de la productividad en ausencia de fertilización con carbono y el aumento de la productividad en caso contrario. Se demostró que la magnitud de esos efectos difiere entre regiones y cultivos, siendo el maíz uno de los más afectados negativamente en la Unión Europea.

La principal contribución de los autores es que se proporciona una información valiosa para las políticas de mercado al evaluar los impactos del cambio climático en la agricultura de la Unión Europea y ayuda a mejorar los procesos de toma de decisiones a nivel nacional cuando se desee construir sistemas agrícolas.

Como futuras investigaciones, se plantea desarrollar un enfoque que acople las simulaciones de rendimiento con el modelo económico, para así mejorar la retroalimentación en lo económico y su impacto en la gestión y productividad de los cultivos. Además, los autores consideran que es necesario dedicar más esfuerzos a otras fuentes de incertidumbre como las **olas de calor** y las **inundaciones** y su influencia en el riesgo de fracaso de la cosecha.

En Phillips et al. (2014), se realizó una investigación para evaluar cómo pueden adaptarse los cultivos a la incertidumbre inherente a las **condiciones climáticas** cambiantes; especialmente en lo relacionado con las tendencias estacionales de crecimiento de los cultivos y la evapotranspiración. Los autores consideran que se puede abordar este problema con un monitoreo de la humedad del suelo mediante un sistema de detección integrado que vincule datos desde múltiples plataformas (sensores inalámbricos, satélites, imágenes aéreas y estaciones climáticas, casi en tiempo real). Así, con estos datos se alimentan modelos

predictivos para generar curvas de crecimiento de cultivos y predecir potenciales de rendimiento específicos en cada región.

Para este trabajo en particular, se hizo un estudio de factibilidad que involucró la medición de la humedad del suelo con una red de sensores, el uso de una estación meteorológica, la medición de la evapotranspiración del cultivo y el planteamiento de varias recomendaciones: (1) Mejora in situ que permita mediciones menos restrictivas de la humedad del suelo. (2) Integración de Redes in situ de escala de campo con monitoreo regional por teledetección. (3) Desarrollo de software y servicios web para integrar datos de múltiples fuentes con modelos de apoyo a las decisiones. Todo esto fue analizado bajo variadas respuestas a la lluvia y a las condiciones normales y de estrés hídrico en diferentes estaciones climáticas.

Como una futura línea de investigación, se plantea el análisis de mejoras a las alertas de los sensores para optimizar la gestión del sistema y la recopilación de datos; también un estudio de los beneficios de usar sensores totalmente inalámbricos o robots móviles para detectar la humedad del suelo, ya que esto llevaría a diseños de muestreo menos restrictivos que podrían ser mejor adaptados a la dinámica cambiante de la humedad del suelo.

Por otro lado, Baghalian et al. (2013), llevan a cabo una investigación que consiste en el desarrollo de un modelo matemático para el diseño de una cadena de suministro multi-producto (con varias fábricas de producción, centros de distribución CD y minoristas), en mercados bajo incertidumbre de **demanda** y **oferta** en un caso de estudio en la empresa TAR-C de la industria del arroz en Asia.

En el modelo planteado se considera un conjunto de ubicaciones potenciales de los CD y de los minoristas y se analiza el impacto que pueden tener las decisiones estratégicas de las ubicaciones sobre el inventario operacional

y la cadena de suministro. También se considera la incertidumbre de la oferta aguas arriba como causante de errores en la conexión entre las fábricas y los CD.

Al considerar que las fábricas de arroz en Asia son muy viejas y que los molinos suelen dañarse, los autores aplican el modelo bajo 4 escenarios diferentes de combinaciones de disponibilidad de los molinos; y analizan la variación en los resultados del modelo al hacer cambios en los parámetros de probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios planteados; lo cual permite medir en que escenarios responde mejor la cadena de suministro a la incertidumbre en las variaciones de la demanda y de la oferta, orientando así la toma de decisiones estratégicas.

Una futura línea de investigación en este campo, es la ampliación del modelo para considerar otras fuentes de incertidumbre como los tipos de **cambio en la cadena de suministro**, los **tiempos de tránsito**, las **cantidades de retornos** en la logística inversa y los **costes de transporte**.

Otra investigación que aborda el tema de la incertidumbre en el sector Agroalimentario es la de González et al. (2011), en la cual se analiza la presencia de **incertidumbre hídrica** para los agricultores de la cuenca del Segura, ya que por ser un territorio árido no dispone de la cantidad total que necesitan los agricultores de este recurso natural.

Los autores reconocen además que el sector agrícola por su naturaleza, está expuesto a otras fuentes de incertidumbre como son: el **clima**, las **enfermedades**, las **plagas**, los **incendios**, los **granizos**, los **precios del mercado**, el riesgo de **decisiones institucionales** que afectan el sector (como restricciones sobre fertilizantes), entre otras.

En este trabajo se plantea que la incertidumbre **hídrica** conduce a generar un riesgo en la **producción**, ya que al ser variable su disponibilidad, no se garantiza una adecuada distribución del riego y por ende se afecta la estabilidad de la producción.

Estos autores, proponen modelos matemáticos para demostrar que al reducir la variabilidad hídrica, los agricultores obtendrían mayores beneficios. Luego con encuestas hechas a 44 comunidades de la zona, plantean, al valorar la desaparición de la incertidumbre hídrica que resulta más beneficioso para estos agricultores pagar una prima de riesgo o seguro de un 3,6% de la utilidad esperada de una explotación, para garantizar un suministro estable de agua.

La principal contribución de esta investigación es que propone un método sencillo que permite usar variables objetivas y muy conocidas por los agricultores para calcular la prima de seguro que les ayudaría a disponer de un suministro hídrico adecuado y controlar mejor esta importante fuente de incertidumbre.

En el trabajo de Fengmei et al. (2011), se estudia la incidencia de la incertidumbre en los **cambios del clima** en el sector agrícola, mediante la simulación de modelos matemáticos. Los autores además plantean que el uso de los modelos para el análisis de esta variable que es tan difícil de predecir, trae consigo en forma inherente incertidumbre en los parámetros y su estructura.

Estos autores, consideran que la incertidumbre en las fluctuaciones del clima, varía estacionalmente, o de un año a otro o entre décadas; lo que lo hace aún más impredecible ya que su comportamiento no es siempre el mismo.

En esta investigación, se analizan modelos de predicción de clima y modelos de predicción del crecimiento y rendimiento del cultivo en respuesta a variaciones de temperatura, concentración de CO<sub>2</sub>, precipitaciones, entre

otras. Se considera que estos modelos deberían tener en cuenta que la adaptación de los cultivos a todos estos cambios es lenta y diversa según la zona que se analice, por lo que debería ampliarse el horizonte de tiempo y estudiar escenarios variados para garantizar mejores resultados.

Estos autores, además, mencionan que es importante que estos modelos matemáticos también incluyan otras fuentes de incertidumbre relacionadas como son las **plagas**, las **malas hierbas** y los **eventos climáticos extremos**.

Finalmente en este estudio se proponen unos métodos para procesar la incertidumbre existente en estos modelos matemáticos, como son el análisis de sensibilidad, la comparación de modelos, el uso simultáneo de un conjunto de modelos, el procesamiento de incertidumbre basado en la evaluación de riesgos y en la simulación de cultivos en diferentes escalas.

Como futura línea de investigación, se plantea explorar más los procesos físicos del cambio climático y la respuesta de los cultivos al mismo, y desarrollar una mejor herramienta de evaluación que tenga claramente especificado el proceso de interpretación de datos y de evaluación como tal.

### **4.3 Industria 4.0 en el sector Agroalimentario**

La industria 4.0 o Internet de las Cosas (IoT) puede ser definido como la interconexión avanzada de dispositivos, sistemas y servicios a internet para recolectar, procesar y comunicar información en forma sincronizada, constante y automática; cubriendo una amplia variedad de aplicaciones, protocolos y dominios. Sus orígenes se remontan a 1999 cuando se realizaban investigaciones sobre la tecnología RFID y los sensores emergentes.

El crecimiento del IoT es acelerado y actualmente tiene aplicación en el control industrial, la salud, el transporte, la energía, la educación, el rastreo de animales, el deporte, la iluminación, la agricultura, el tráfico, la gestión ambiental, la seguridad, la logística, el control de la cadena de suministro, la producción, la automatización del hogar, el sector del retail, el desarrollo de ciudades inteligentes, entre otros.

Son muchas las ventajas que ofrece el IoT, ya que pone la información al alcance de todas las personas, facilita la comunicación, permite el control de la información en tiempo real, también la conectividad entre varios equipos, el ahorro de tiempo en el desempeño de las actividades, una mayor precisión en los datos, la reducción en el consumo de agua y energía, la disminución de accidentes, la respuesta oportuna a problemas de salud, un mejor servicio al cliente, la optimización de procesos productivos, una mayor gestión y control de factores medioambientales, entre otros.

En general, se puede afirmar que el IoT suministra datos reales en la cantidad y momento adecuado, para que el ser humano pueda ser más acertado en su proceso de toma de decisiones tanto a nivel personal, como social y empresarial; debido a que puede hacer mediciones permanentes en paralelo que resultarían imposibles para las personas.

Sin embargo, se reconoce que el IoT tiene también algunas desventajas que deben conocerse; como son el riesgo inherente de seguridad de los sistemas informáticos, la pérdida de privacidad, la generación de dependencia a los dispositivos, la dependencia a la energía, el terrorismo cibernético, la proliferación de virus, la estabilidad de las conexiones, el reemplazo en las empresas de los humanos por los robots, entre otras.

Una de las principales aplicaciones del IoT es en el sector Agroalimentario, debido a que se convierte en una gran ayuda para gestionar y controlar las fuentes de incertidumbre

existentes y que están relacionadas con las variables propias del ambiente, del suelo, de la cosecha, de la calidad de los productos, del uso adecuado de fertilizantes, de las plagas, entre otras.

A continuación se presenta un estudio del estado del arte sobre el uso del IoT en el sector Agroalimentario y su soporte en la toma de decisiones estratégicas por parte del agricultor.

Liopa-tsakalidi et al. (2013), realizan un estudio sobre una **aplicación móvil** que permite analizar todas las actividades realizadas en una granja incluyendo el arado del suelo, la fertilización, el uso de herbicidas y la trazabilidad de los productos agrícolas. Esto consiste en **Apps** que permiten que los agricultores registren en teléfonos inteligentes y tabletas todo lo relacionado con sus tareas y productos en tiempo real; lo que le sirve de base para la **toma de decisiones de producción, financieras y ambientales**.

La aplicación móvil propuesta está compuesta por varios módulos: el **servidor de bases de datos agrícolas** que conserva a largo plazo todos los datos, información, criterios e imágenes que permitan obtener un estándar de alta calidad de la producción agrícola; el **servidor de bases de datos de trazabilidad** que tiene la capacidad de identificar de forma única cada producto y rastrearlo a lo largo de su ciclo de vida; el sistema de apoyo a las decisiones que hace uso de datos ambientales y meteorológicos para hacer recomendaciones de que pasos deben seguirse para lograr una producción con calidad y también emite alarmas a los agricultores cuando hay malas condiciones climáticas u otras condiciones negativas para la producción; y por último el **servidor web y móvil** que permite la comunicación ininterrumpida entre la tierra y las redes móviles así como también el intercambio de datos entre todos los módulos de la aplicación.

Estos autores, plantean en su trabajo el uso de las siguientes tecnologías: banda ancha **3G** y **4G**, **Apps** para Apple, Android y Windows 8, sistemas **GIS**, **RFID**, micro **sensores**, micro receptores **GPS** y red de sensores.

La principal contribución de esta investigación es que proporciona una guía por pasos de un sistema de gestión de monitoreo y trazabilidad ambiental para los agricultores, que además puede ser utilizado en diversos entornos agrícolas.

En el trabajo de Chen (2015), se diseña un sistema de rastreo autónomo basado en la arquitectura IoT (Internet de las cosas) usando **mapas cognitivos difusos FCM** y el **método de la regla difusa** para el ciclo de vida de un producto alimentario; este sistema es modelado para medir la eficiencia del mismo mediante el algoritmo de efectos totales.

Estos autores, consideran que a lo largo de la cadena de suministro alimentaria se presentan problemas de calidad del producto y de seguridad, los cuales pueden ser estudiados y controlados a través del IoT y un agente de software que permitan el **intercambio electrónico de información** de rastreo entre los diferentes actores de la cadena.

Por otro lado, se menciona en el estudio que el sistema autónomo propuesto se puede integrar con tecnologías habilitadoras como el código de producto electrónico (**EPC**) y el sistema de radio frecuencias (**RFID**).

Se plantea, como futura línea de investigación, incluir en los sistemas otros enfoques cuantitativos para mejorar la precisión de los resultados del rastreo, como las técnicas de árboles de decisiones difusas.

Wolfert et al. (2017), realizaron un estudio para conocer el estado del arte de la aplicación de técnicas **Big Data** en la agricultura inteligente, la revisión muestra que su alcance va más allá de la producción primaria y que se extiende a toda la cadena de suministro; el Big Data es usado para proporcionar

**predicciones a nivel de operaciones** agrícolas, impulsar las **decisiones en tiempo real** y **rediseñar los procesos** de modelos de negocio.

En la investigación se concluye que este tema está aún en una etapa temprana de desarrollo debido a que hay limitaciones en las publicaciones científicas disponibles, las principales revisadas eran de Europa y América del Norte.

Se concluye que, a pesar de que el Big Data facilita la organización de la agricultura inteligente a gran escala y velocidad, se observa que el sistema se reinventa continuamente en nuevos modelos de negocio y se orienta por el acceso a datos y previsión en tiempo real, el rastreo de elementos físicos y en combinación con desarrollos del IoT, en una mayor automatización y operación autónoma de la granja.

Se sugiere, para futuras líneas de investigación, examinar los aspectos éticos del Big Data y de la necesidad de diseñar modelos de negocio adecuados que no sean inhibidores de esta aplicación.

Scognamiglio et al. (2014), realizaron un estudio sobre la tecnología de **biosensores** en el sector agroalimentario, la cual es utilizada para el **control inteligente de los nutrientes** y la **detección rápida de contaminantes** biológicos y químicos que permiten evaluar la calidad y la inocuidad de los alimentos.

Se resaltan, como ventajas del uso de los biosensores, que permiten mediciones de alta velocidad en tiempo real y en línea (de minutos a algunas horas), especificidad, sensibilidad y un alto grado de automatización; lo que permite analizar toda la cadena de suministro

Estos autores, recomiendan que resulta útil combinar los biosensores con la tecnología de información y comunicación TIC, ya que permite desarrollar múltiples estaciones de biosensibilidad capaces de proporcionar

información sobre parámetros claves químicos, biológicos y físicos en el sector agroalimentario; y sobre mediciones a ríos, lagos, pozos y plantas de tratamiento de agua; todo esto sirve de apoyo a la toma de decisiones por parte del agricultor.

Sin embargo, en el estudio se reconoce que sigue siendo limitada la aplicación de esta tecnología debido a que algunos prototipos siguen en fase crítica, por lo que se considera que es necesaria una futura investigación más detallada sobre este tema para mover la tecnología de biosensores desde el laboratorio hasta los productos comerciales.

Otro de los trabajos relacionados con el IoT es el de Ma et al. (2011), en donde se diseña una **red de sensores** para conectar la agricultura con el IoT, considerando criterios como fiabilidad, gestión, interoperabilidad, bajo coste y comercialización. Con esta propuesta se espera que se creen **conexiones entre agrónomos, agricultores y cultivos**, aunque su ubicación geográfica no sea la misma.

La arquitectura del sistema diseñado incluye nodos sensores, nodos de retransmisión y punto de enlace que forman una red; con ellos se toman y procesan medidas ambientales como temperatura, humedad relativa del aire, humedad del suelo, luz ambiental y concentración de CO<sub>2</sub>. Además se cuenta con un sistema de apoyo a la decisión (**DSS**), que contiene diversos modelos agrícolas, analiza la base de datos y publica orientación relevante, como **riego, manejo de plagas y advertencias climáticas** desastrosas a los granjeros **vía SMS**.

Estos autores planean, como futuras investigaciones, mejorar la interoperabilidad y programación de los sensores al conectarse al IoT, agregar cámaras de baja resolución y emplear métodos etnográficos para explorar los posibles aprovechamientos de las TIC.

Por su parte Xiaolin et al. (2012), enfocaron su trabajo a la propuesta de un método que utiliza la **tecnología GIS** incorporada, las bases de datos y un modelo de balance de nutrientes del suelo, para desarrollar un sistema de gestión de la información de **fertilidad del suelo** en la provincia de Yunnan, en China. Este sistema puede funcionar en teléfonos Windows Mobile 6.5, PDA y otras terminales de dispositivos inteligentes.

Los usuarios pueden solicitar información nutricional del suelo, obtener fórmulas y recomendación de fertilizantes, ver mapas temáticos de los nutrientes del suelo y **administrar datos** espaciales en el sistema **con el teléfono inteligente** sin restricciones de red y ubicación.

La principal contribución de este trabajo es que su aplicación fue eficiente y permitió ayudar a los agricultores a fertilizar de forma más racional y adecuada; además sirvió de ayuda al gobierno de la provincia para el planteamiento de la futura política agrícola.

Boza et al. (2014), en su investigación hicieron una revisión de la literatura relacionada con el uso del IoT en los sistemas productivos, en base a 5 categorías: sector, tecnología, fase de producción, aplicación práctica y beneficio. Además, los autores presentan las ventajas del uso del IoT, sirviendo de ayuda a los procesos de gestión de los sistemas de producción.

Desde el punto de vista de los sectores se encontró literatura de IoT para la agricultura, alimentación, juguetes, metal, aeroespacial, químico y de la confección. En lo relacionado con la tecnología se observó principalmente el uso de **codificación 2D, RFID, sensores**; además se identificaron otras tecnologías como **redes inalámbricas, cámaras, comunicación móvil, servidores, GPS, Bluetooth, Zigbee, LAN**, entre otros.

Los resultados del estudio muestran que las fases de producción en las que más se ha enfocado la literatura son en las operaciones de suministro al cliente, de control de calidad y de control de la producción. Se han encontrado 4 aplicaciones prácticas relacionadas con una fábrica del sector de la confección, a un taller, a una línea de ensamblaje de automóviles y a la gestión de cilindros de oxígeno. Por otra parte, los beneficios más frecuentemente identificados del uso del IoT son **información en tiempo real, información más accesible y mejora de la calidad de la producción.**

Dado que las aplicaciones del IoT en el área de producción se concentran principalmente en la fase de control, se plantea hacer investigaciones futuras en las fases de planificación, operación y en subfases.

Bhange and Hingoliwala (2015), en su artículo proponen como herramienta un **software** que permite ayudar a los agricultores de granada a **identificar** la presencia de **enfermedades en la fruta** subiendo una imagen de la misma al sistema; esto debido a que se tiene un conjunto previo de datos entrenados de imágenes de esta fruta.

En la operatividad del sistema se **comparan las imágenes en varias fases para detectar la gravedad de la enfermedad**, primero se redimensiona la imagen y después se extraen sus características en parámetros como color y morfología; el agrupamiento de las variables se hace bajo el algoritmo k-means y al final se obtiene una clasificación de la imagen de la granada como no infectada o infectada en estado I, II o III.

En este estudio se menciona que la efectividad de esta herramienta es de un 82%, por lo que se considera útil para alcanzar mayores rendimientos en los cultivos y ayudar a la toma de decisiones preventivas y correctivas.

Como futuras fuentes de investigación, se plantea mejorar el entrenamiento del sistema para detectar enfermedades para otras frutas y aumentar el tamaño del conjunto de datos para mejorar la precisión y el rendimiento general del sistema.

Borgia (2014), en su investigación, presenta las principales características y las tecnologías de controladores del IoT e identifica los escenarios de aplicación. Se considera que estas tecnologías forman parte de 3 fases: recolección de datos, transmisión de datos, y procesamiento, gestión y uso de datos.

Este autor concluye que las tecnologías de la fase de recolección son **RFID, sensores, cámaras, bluetooth, terminales GPS, Zigbee, Dash7, Wireless M-BUS, EPC, WSN**. Las tecnologías de la fase de transmisión son **wired, wireless, satellite, LEACH, RPL, Trickle** Las tecnologías de la fase de procesamiento, gestión y uso de datos son **P2P, DHT, PHT, Mercury, Maan y Squid**.

Por otro lado, se resaltan como principales aplicaciones del IoT la agricultura, criaderos, procesamiento industrial, seguridad pública, monitoreo medioambiental, cuidado de la salud, gestión logística y de ciclo de vida del producto, rastreo, red inteligente y turismo inteligente.

Como futura línea de investigación, se plantea desarrollar soluciones innovadoras que aborden la modelización de canales, codificación de información y protocolos de comunicación, que permitan la integración de nano dispositivos al IoT.

Satyanarayana (2013), en su investigación diseña e implementa un sistema con red de sensores inalámbricos conectados a un nodo central utilizando **ZigBee**, que a su vez está conectado a una Central de Monitoreo (**CMS**) mediante el servicio general de radiocomunicaciones por paquetes (**GPRS**) o del sistema global para tecnologías móviles (**GSM**). El

sistema también obtiene parámetros de posicionamiento global del sistema (**GPS**) relacionados con el campo y los envía a una estación central de monitoreo.

Con esta herramienta se pueden hacer **mediciones del suelo, de temperatura y de humedad**, lo que ayuda a los agricultores en la toma de decisiones sobre métodos adecuados de riego para la granja completa o para determinada cosecha.

Este autor concluye que el comportamiento del sistema es eficiente ya que pudo realizar en forma ágil mediante una red automática, medición de datos en tiempo real, transmisión y exhibición de los mismos. Con la ventaja de que opera a bajo coste, con poco consumo de energía, tiene flexibilidad de redes, funciona sin cableado y en una interfaz amigable para el agricultor.

Como futura fuente de investigación, se propone mejorar el sistema para que pueda hacer mediciones del nivel de agua subterránea con el sensor apropiado; y monitorizar la condición meteorológica para un área más grande.

#### 4.4 Resumen del estado del arte

La literatura revisada sobre las **decisiones** en la cadena de suministro del sector Agroalimentario reflejan que existen enfoques variados en los que se basan los agricultores para direccionar su negocio; hay enfoques relacionados con la eficiencia de la producción y en la distribución, el control de calidad, la eficiencia logística, la eficiencia en los procesos de negocio, la maximización de ingresos, las asociaciones en la cadena de suministro, la satisfacción del cliente, el control de inventarios, la inversión en tecnologías agrícolas, el tipo de embalaje, la planificación de rutas de transporte, entre otros.

Cada uno de estos enfoques conlleva al planteamiento y a la toma de decisiones estratégicas con el fin de alcanzar los objetivos definidos previamente. Se puede concluir de los artículos revisados, que las decisiones que con más frecuencia han sido objeto del planteamiento de modelos, sistemas y marcos de referencia, y que son más mencionadas en los estudios de estado de arte, son las relacionadas con **la planificación de la producción y de la distribución, la gestión del almacenamiento y de la logística del transporte.**

En 10 de los artículos investigados los autores han diseñado modelos, sistemas, marcos y herramientas para ayudar a los agricultores al proceso de toma de decisiones; mediante la posibilidad de simular y analizar el impacto de variables como el horizonte de planificación, rutas de distribución y su frecuencia, la vida útil del producto, tamaño del lote de producción, tecnologías agrícolas, configuraciones de la cadena de suministro, fecha de planificación de las cosechas, demanda, temperatura del transporte, variaciones del clima, diseño de la red de distribución, porcentaje de pérdidas en producción y la asignación de capacidad.

Con la información obtenida de estas herramientas, los agricultores toman decisiones como: frecuencia de recolección, tipo de envasado, tipo de sistema para el control de calidad, necesidad de inversión en TIC y APPs como tecnología de soporte, priorización de lotes de producción según ciclo de vida del producto, planificación de cosechas, tipo de transporte, condiciones de almacenamiento, necesidad de subcontratación de actividades logísticas, diseño de la red de distribución, selección de proveedores, tipo de embalajes, tiempo y frecuencia de las rutas, solicitud de materiales y flexibilidad en la producción para dar respuesta a eventos inesperados.

En los 2 artículos restantes, se estudia el estado del arte sobre las decisiones en el sector agroalimentario y se concluye que están relacionadas con la producción,

distribución, selección de tecnología agrícola, inversiones, asociaciones, definición y medición de KPIs, gestión de calidad, sostenibilidad, planificación de cosechas, planificación de operaciones logísticas, seguridad y configuración de la red de suministro.

Además de las decisiones mencionadas anteriormente, durante la revisión de la literatura objeto de esta investigación; se ha identificado que existen **decisiones de apoyo** o complementarias en el sector Agroalimentario como lo es la **trazabilidad**, la cual según el estudio de Bosona and Gebresenbet (2013), es una parte integral de la gestión logística debido a la importancia de tener continuidad en el flujo de información y comunicación efectiva de rastreabilidad a los consumidores y demás actores; logrando mejoras en la satisfacción del cliente, en la gestión de las crisis en la FSC y en la competitividad de la empresa. Así mismo Manzini and Accorsi (2013), presentan un marco conceptual enfocado en la seguridad y eficiencia logística que se apoya en la trazabilidad de productos, procesos y sistemas, especialmente con el uso de la Tecnología RFID para tener un control sincrónico de todo el sistema de suministro de alimentos y ofrecer un mejor servicio a los consumidores.

A continuación se presenta una tabla resumen que muestra cada uno de los artículos científicos analizados en la revisión del estado del arte y los relaciona con las decisiones del sector Agroalimentario que aparecen citadas en ellos, esto con el fin de identificar claramente cuáles de dichas decisiones han sido más incluidas en sus objetos de estudio.

ARTICULOS CIENTIFICOS	DECISIONES EN SECTOR AGROALIMENTARIO															
	Planificación Distribución	Embalaje	Planificación producción	Almacenamiento	Transporte	Planificación logística	Inversión	Asociaciones en FSC	Diseño de red	Previsión demanda	Gestión de calidad	Gestión inventario	Selección proveedores	Aprov. materia prima	Subcontrat. logística	Selección tecnologías
Ahumada and Villalobos (2011)	X	X		X	X											
Lükte et al (2005)			X													
Tsolakis et al (2014)			X			X	X	X	X		X					X
Shukla and Jharkharia (2013)			X		X					X		X				
Rong et al (2011)	X		X	X	X											
Ahumada and Villalobos (2009)	X		X													
Amorim et al (2016)	X		X										X	X		
Hsiao et al (2010)				X	X	X			X						X	
Ala-Harja and Helo (2014)	X	X		X	X											
Akkerman and Van Donk (2008)			X	X												
Ahumada et al (2012)	X		X	X	X											
Van Wezel et al (2006)			X													

Tabla 1. Resumen de las decisiones del estado del arte de la FSC. Fuente: Elaboración propia

Después de analizar la tabla 1, se concluye que las decisiones más mencionadas en los artículos científicos analizados son: Planificación de la **distribución**, planificación de la **producción**, gestión de las condiciones de **almacenamiento** y gestión del sistema de **transporte**; entre las cuales se destaca la planificación de la producción que ha sido citada en nueve de los doce artículos analizados.

Otro de los temas abordados por los investigadores es la identificación de las fuentes de **incertidumbre** en la cadena de suministro del sector Agroalimentario, tema que ha tenido mucha importancia en este sector debido a que, por su propia naturaleza, con frecuencia es susceptible a alteraciones de este tipo.

Notablemente se observa que la fuente más analizada en los artículos estudiados es la **variación del clima**, seguida de las **condiciones del suelo** y la **demanda**. Para las cuales los autores proponen modelos y herramientas que permitan hacer un pronóstico del comportamiento de esas variables en un período de tiempo y así poder tomar decisiones más acertadas que ayuden a reducir el nivel de riesgo asociado.

Otras fuentes de incertidumbre relacionadas en la literatura son: competidores, oferta, tiempo de entrega, disponibilidad, plagas, inundaciones, erosión del suelo, nivel de purificación del agua, estacionalidad de los cultivos, humedad, incendios, granizos, malas hierbas y estrés hídrico.

Los modelos propuestos que ayudan a la medición y control de la incertidumbre, permiten a los agricultores definir políticas de transporte, plantación, almacenamiento, distribución, selección de proveedores, medición del rendimiento de la producción, seguridad, sostenibilidad, control de contaminación, métodos de fertilización, entre otras.

En esta investigación se ha planteado analizar sólo la incidencia de fuentes de incertidumbre externas en la toma de decisiones del sector Agroalimentario, para lo cual se presenta

a continuación una tabla resumen que muestra cada uno de los artículos científicos analizados en la revisión del estado del arte y los relaciona con las fuentes de incertidumbre externas que aparecen citadas en ellos. Esto con el fin de identificar claramente cuáles de dichas fuentes de incertidumbre han sido más relevantes y por ende mayormente incluidas en sus objetos de estudio.

	FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN SECTOR AGROALIMENTARIO															
ARTICULOS CIENTIFICOS	Variaciones del clima	Demanda	Competidores	Tiempo de entrega	Disponibilidad /oferta	Producción de los cultivos	Plagas	Inundaciones	Condiciones del suelo	Purificación del agua	Cantidades de retorno	Costes de transporte	Estrés Hídrico	Incendios	Decisiones institucionales	Precios del mercado
Yanes-Estévez et al (2010)	X	X	X													
Ahumada et al (2012)	X	X														
Amorim et al (2016)		X		X	X											
Dalla et al (2015)	X					X										
Nguyen-the et al (2016)	X						X	X	X	X						
Blanco et al (2017)	X							X								
Phillips et al (2014)	X															
Baghalian et al (2013)		X		X	X						X	X				
González et al (2011)	X					X	X						X	X	X	X
Fengmei et al (2011)	X						X	X						X		

Tabla 2. Resumen de las fuentes de incertidumbre del estado del arte de la FSC. Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la tabla 2, se concluye que las fuentes de incertidumbre que han sido mayormente objeto de estudio en los artículos científicos analizados son: variaciones del **clima, demanda, plagas e inundaciones**; entre las cuales se destaca con gran diferencia la variación del clima, que ha sido citada en ocho de los diez artículos del estado del arte revisados.

Finalmente al revisar los artículos sobre la **industria 4.0** se encuentran trabajos dedicados al estudio del estado del arte, que hacen referencia al uso del Big Data como herramienta para las predicciones en operaciones y de ayuda a la detección de información en tiempo real; a los biosensores como herramienta para el control de nutrientes, contaminantes biológicos y químicos que en conjunto con las TIC ayuda al control de calidad; a la codificación 2D, RFID, sensores, redes inalámbricas, cámaras, comunicación móvil, servidores, GPS, Bluetooth, Zigbee, LAN como tecnologías para la recepción, transmisión y procesamiento de datos en el proceso agrícola.

Los autores han logrado identificar las siguientes tecnologías de la Industria 4.0 que tienen utilidad en el sector Agroalimentario: RFID, sensores, cámaras, bluetooth, terminales GPS, Zigbee, Dash7, Wireless M-BUS, EPC, WSN, wired, wireless, satellite, LEACH, RPL, Trickle, P2P, DHT, PHT, Mercury, MaaN y Squid.

El enfoque de otra parte de los artículos de investigación es el diseño de sistemas con herramientas del IoT para ayudar a los agricultores en el monitoreo y la trazabilidad ambiental con 3G, 4G, Apps, RFID, micro sensores, GPS, GIS; en el rastreo con mapas cognitivos del ciclo de vida del producto con software, RFID, EPC; en la medición de temperatura, humedad, luz, CO2, plagas, suelo, clima con red de sensores, Zigbee, CMS, GPRS, GSM, GPS; en la medición de la fertilidad del suelo con GIS, PDAs; en la identificación de enfermedades en la fruta con comparación de imágenes en un software.

Con esta información, los agricultores toman principalmente decisiones de métodos de riego, política de fertilizantes, planificación de la producción, tiempo de cosecha y control de calidad.

A continuación, se presenta una tabla resumen que muestra cada uno de los artículos científicos analizados en la revisión del estado del arte y los relaciona con las tecnologías del IoT utilizadas en el sector Agroalimentario que aparecen citadas en ellos, esto con el fin de identificar claramente cuáles de dichas tecnologías han sido más incluidas en sus objetos de estudio.

APLICACIONES DEL INTERNET DE LAS COSAS EN SECTOR AGROALIMENTARIO																								
ARTICULOS CIENTIFICOS	Sensores	GIS	Bandas 3G y 4G	FCM	CMS	GPS / GPRS	EPC	Big Data	RFID	Dispositivos Móviles / GSM / Apps	Servidores	TIC	DSS	Cámaras	Bluetooth	Zigbee	LAN	Software Especializado	RPL / P2P	WSN	DHT / PHT	Mercury MaaN Squid	Dash7 Leach Trickle	
Liopa-tsakalidi et al. (2013)	X	X	X			X			X	X	X													
Chen (2015)				X			X		X															
Wolfert et al. (2017)								X																
Scognamiglio et al. (2014)	X											X												
Ma et al. (2011)	X												X											
Xiaolin et al. (2012)		X								X														
Boza et al. (2014)	X					X			X	X	X			X	X	X	X							
Bhange and Hingoliwala (2015)																		X						
Borgia (2014)	X					X	X		X					X	X	X			X	X	X	X	X	X
Satyanarayana (2013)	X				X	X				X						X								

Tabla 3. Resumen de las aplicaciones del IoT del estado del arte de la FSC. Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la tabla 3, se concluye que las aplicaciones del IoT para el sector Agroalimentario que han sido mayormente objeto de estudio en los artículos científicos analizados son: **Sensores**, sistemas **GPS/GPRS**, tecnología **RFID**, **dispositivos móviles**, **GSM** y **Apps**; entre los cuales se destacan los sensores, que ha sido mencionados en seis de los diez artículos del estado del arte revisados.

## 5 CADENA DE SUMINISTRO DEL SECTOR AGROALIMENTARIO

Como resultado de la investigación sobre la literatura relacionada con el objeto de estudio de este trabajo, se puede concluir que son cinco (5) los principales actores que intervienen en la Cadena de Suministro del sector Agroalimentario, los cuales están representados gráficamente en la ilustración 1.



Ilustración 1. Cadena de Suministro Agroalimentaria. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se explicará brevemente cada uno de estos eslabones de la cadena:

- **Producción de frutas:** Se define como el proceso continuo de cultivo teniendo en cuenta condiciones climáticas como la duración del día, el viento, la temperatura, las características del suelo y los insectos. Incluye actividades como plantar árboles, podar, fertilizar, irrigar, manejar plagas y cosechar. La cosecha está limitada a un momento específico de tiempo, dependiendo del clima y de la variedad del producto; esto es determinante para la calidad de la fruta.

- **Procesamiento de frutas:** Consiste en transformar la fruta fresca en productos alimenticios (frutas comestibles, zumos e ingredientes para comida industrial). Incluye actividades como lavado, clasificación y agrupación; según criterios de peso, tamaño, madurez, daños, color, forma y firmeza Verdouw et al. (2010); también se encarga del empaque y etiquetado de los productos de fruta para su posterior comercialización.

- **Distribución de frutas:** Está relacionado con los procesos de recepción, almacenamiento, despacho y transporte de los productos de frutas. En esta parte cobran vital importancia las técnicas de refrigeración y control de temperaturas para preservar la calidad de la fruta. Se distinguen 3 modelos básicos de distribución: Entrega directa, entrega a través de un almacén central y transbordo por cross-docking Verdouw et al. (2010)

- **Minoristas:** Encargados de poner la fruta a disposición del cliente final, a ellos pertenecen los supermercados, las tiendas especializadas en frutas y vegetales, los mercados, tiendas de barrio y restaurantes (como proveedores de servicios de comida). Para ellos existen embalajes de mediano y gran tamaño.

- **Cliente:** Es el consumidor final del producto, quien requiere de embalajes pequeños y de fruta en unidad individual. Demanda productos de calidad, frescos, de fácil accesibilidad y que cumplan con las reglamentaciones del sector alimentario. Muchas veces esta sesgado por la cosecha de temporada y los bajos precios que ofrece, por lo que ocasiona inestabilidad en la demanda.

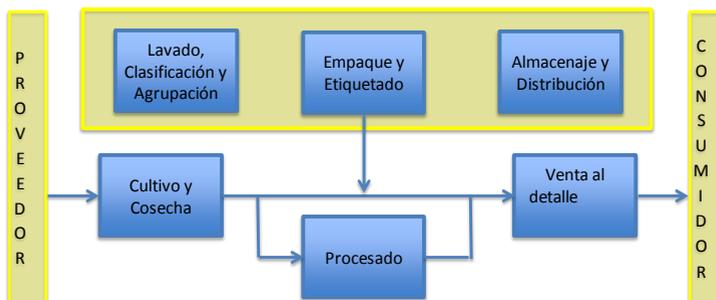


Ilustración 2. Transformaciones básicas en la FSC. Fuente: Verdouw et al. (2010)

Se puede definir como gestión de la cadena de suministro la integrada planeación, coordinación y control de la logística de todos los procesos de negocio y de las actividades en la cadena de suministro para hacer una entrega con valor agregado al cliente al menor costo para la red en su conjunto, al mismo tiempo que satisface las necesidades de las otras partes interesadas en ella. Vorst (2000)

Una vez identificada la Cadena de Suministro del sector Agroalimentario, el siguiente paso es determinar qué estrategias deben implementarse para lograr una adecuada gestión de toda la red que garantice productos de calidad, al precio justo y en el momento requerido por el consumidor final.

## 6 IDENTIFICACION DE DECISIONES EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO

Tal como se ha mencionado anteriormente, en la revisión de la literatura se han podido identificar varias decisiones a la hora de gestionar la cadena de suministro del sector Agroalimentario, dentro de las que pueden mencionarse las relacionadas con la frecuencia de recolección, el tipo de envasado, el tipo de sistema para el control de calidad, la necesidad de inversión en TIC y APPs como tecnología de soporte, la priorización de lotes de producción según ciclo de vida del producto, la planificación de cosechas, el tipo de transporte, las condiciones de almacenamiento, la necesidad de subcontratación de actividades logísticas, el diseño de la red de distribución, la selección de proveedores, el tipo de embalajes, el tiempo y la frecuencia de las rutas, la solicitud de materiales, la flexibilidad en la producción para dar respuesta a eventos inesperados, la selección de tecnología agrícola, las inversiones, las asociaciones, la definición y medición de KPIs, la sostenibilidad, la seguridad y la configuración de la red de suministro. Esto indica que existe una gran variedad de decisiones inherentes al sector Agroalimentario.

En esta investigación se valorará qué decisiones del sector Agroalimentario son más relevantes, en base al concepto descrito en el apartado 6 sobre la gestión de la cadena de suministro, en la revisión del estado del arte de este sector y en el resumen presentado en la tabla 1. Para ello se tendrá en cuenta, no solo el número de veces que las decisiones han sido mencionadas en los artículos científicos analizados, sino también su impacto en cinco aspectos, que después de la lectura de los temas, se han podido considerar como claves en la eficiencia de la gestión de la cadena de suministro del sector Agroalimentario; los cuales se mencionan a continuación:

**1. Control logístico:** Este aspecto permite que se disponga de una completa información del producto a lo largo de la red, en lo relacionado con la cantidad, temperatura,

destino, patrones de consumo, índices de pérdidas, entre otras; para lo cual es necesario contar con dispositivos que permitan capturar, procesar e interpretar los datos y que faciliten la posterior toma de decisiones.

**2. Valor agregado al cliente:** Este aspecto está relacionado con que se puedan satisfacer las necesidades del cliente y ser diferenciador en el mercado. Es importante que se disponga del producto en las cantidades, tiempo y lugar que sea solicitado; y con las características y condiciones esperadas.

**3. Calidad del producto:** Es importante que los productos Agroalimentarios que sean distribuidos en el mercado estén en aptas condiciones de calidad y que no representen un riesgo para el consumo humano; para lo cual se deben tener políticas adecuadas de aplicación de pesticidas y fertilizantes y además garantizar la cadena de frío a lo largo de toda la red de suministro.

**4. Reducción de costes:** Este aspecto hace referencia a la toma de decisiones acertadas en cuanto a implementación de procesos, contratación de personal, inversión en maquinarias y tecnologías agrícolas, planificación de rutas y de producción, entre otras; de manera que se satisfaga al consumidor final con la menor utilización de recursos y al menor coste posible.

**5. Satisfacción de todos los actores de la red:** Dada la estrecha relación entre los actores de la red de suministro del sector Agroalimentario, es importante que se mantenga entre ellos buena comunicación, coordinación y colaboración para que se logren mantener las condiciones del producto desde la granja hasta el minorista y todos alcancen los beneficios esperados.

El grado de relación de las decisiones con los aspectos anteriormente mencionados se muestra en una tabla, más adelante, según la siguiente escala:

**Nulo:** con un valor de 0

**Medio:** con un valor de 1

**Alto:** con un valor de 2

Para el procesamiento de los datos se usará el Método de Factores Ponderados, en el que se asigna un peso porcentual a cada uno de los aspectos según su grado de importancia. Los pesos asignados son los siguientes:

1. Control logístico: 25%
2. Valor agregado al cliente: 15%
3. Calidad del producto: 35%
4. Reducción de costes: 20%
5. Satisfacción de todos los actores de la red: 5%

Finalmente, se calcularán los totales ponderados para cada una de las decisiones analizadas, para así identificar cuáles de ellas pueden ser consideradas como las principales decisiones en la cadena de suministro del sector Agroalimentario. Estas decisiones, posteriormente, serán caracterizadas para formar parte de la propuesta que se ha de plantear para reducir la incertidumbre en la cadena de suministro del sector Agroalimentario mediante el uso de la Industria 4.0.

A continuación se muestra la tabla de relación de las decisiones con los aspectos claves para la gestión de la cadena de suministro del sector Agroalimentario:

		DECISIONES EN SECTOR AGROALIMENTARIO															
	ASPECTOS	Planificación Distribución	Embalaje	Planificación producción	Almacenamiento	Transporte	Planificación logística	Inversión	Asociaciones en FSC	Diseño de red	Previsión demanda	Gestión de calidad	Gestión inventario	Selección proveedores	Aprov. materia prima	Subcontrat. logística	Selección tecnologías
25%	1. Control Logístico	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	0	0	2	2
15%	2. Valor Agregado al Cliente	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
35%	3. Calidad del Producto	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	2	1	2	2	1	2
20%	4. Reducción de Costes	2	1	2	2	1	2	0	2	2	2	2	2	1	1	0	1
5%	5. Satisfacción de Actores de la Red	1	1	1	2	1	1	0	2	2	0	1	0	0	0	1	1
<b>TOTALES PONDERADOS</b>		<b>1,70</b>	<b>1,60</b>	<b>1,70</b>	<b>1,60</b>	<b>1,75</b>	<b>1,55</b>	<b>1,10</b>	<b>1,50</b>	<b>1,40</b>	<b>0,95</b>	<b>1,70</b>	<b>1,15</b>	<b>1,05</b>	<b>1,05</b>	<b>1,05</b>	<b>1,60</b>
6. Número de Citas		6	2	9	6	6	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4. Relación de decisiones con aspectos claves de gestión de la FSC. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla 4, existen columnas que muestran relaciones altas entre las decisiones y los aspectos claves; dando como resultados totales ponderados con valores mayores o iguales a 1,70. También se identifican algunas columnas con relaciones medias que se reflejan en totales ponderados entre 1,40 y 1,60; y finalmente ciertas columnas que muestran relaciones bajas con totales ponderados menores o iguales a 1,15.

Con base en la información presentada en la tabla 4, se concluye que las principales decisiones en la cadena de suministro del sector Agroalimentario son aquellas que han sido mayormente citadas en los artículos científicos y/o que muestran relaciones altas y medias con los aspectos claves en la gestión de la FSC. Estas decisiones son:

1. Planificación de la producción
2. Planificación de la distribución
3. Gestión de las condiciones de almacenamiento
4. Gestión del sistema de transporte
5. Definición de tipos de embalaje
6. Planificación logística
7. Diseño de la red de distribución
8. Gestión de la calidad
9. Selección de tecnologías agrícolas
10. Asociaciones de colaboración en la FSC

Dentro de estas decisiones se han identificado dos que destacan sobre el resto, ya que tienen los totales ponderados más altos y a su vez han sido mayormente mencionadas en los artículos científicos; por lo que puede concluirse que son las más importantes de todas. Estas decisiones son: la **planificación de la producción** y la **gestión del sistema de transporte**.

A continuación se presenta en la tabla 5, la caracterización de las principales decisiones en la cadena de suministro del sector Agroalimentario, especificando quién es el encargado de tomar cada decisión, en qué momento se llevan a cabo y cuál es el objetivo principal por el cual se toma determinada decisión, todo esto teniendo en cuenta su incidencia directa en la cadena de suministro.

Luego para mostrar una mejor contextualización de esta investigación, se muestra una breve descripción de cada una de estas decisiones.

DECISION	QUIEN LA TOMA	CUANDO SE TOMA	PARA QUE SE TOMA
1. Planificación de la producción	Productor	Antes de iniciar la producción	Para la prorización de lotes de producción según el ciclo de vida del producto, para definir qué plantar, en qué cantidad y cuándo cosechar. Para alcanzar la maduración y calidad adecuada de la fruta, para lograr una distribución permanente de la fruta durante todo el año
2. Planificación de la distribución	Productor, procesador, centro de distribución y minorista	En producción, procesamiento, almacenamiento y distribución	Para establecer procesos adecuados de recepción, almacenamiento, despacho y transporte de productos, para seleccionar las técnicas de refrigeración adecuadas y el modelo de distribución que mejor contribuya a la satisfacción del cliente y a la reducción de costes.
3. Gestión de las condiciones de almacenamiento	Todos los actores	En procesamiento, distribución, almacenamiento y consumo	Para garantizar la calidad, frescura y conservación de la fruta en toda la CS. Para minimizar los riesgos de daño de la fruta
4. Gestión del sistema de transporte	Productor, procesador, centro de distribución y minorista	Al planificar la distribución	Para la adecuada conservación del producto, para la reducción de costes, para definir la frecuencia de rutas, para garantizar la satisfacción del cliente final
5. Definición de tipos de embalaje	Productor, procesador y centro de distribución	Al gestionar la distribución y el almacenamiento	Para satisfacer las necesidades particulares de almacenamiento y consumo de los actores de la cadena, logrando reducción en costes de transporte y almacenaje.
6. Planificación logística	Productor, procesador, centro de distribución y minorista	En toda la cadena de suministro	Para determinar el tiempo y la frecuencia de las rutas, para minimizar los riesgos de daño de la fruta, para garantizar el flujo correcto de información entre los diferentes actores y la entrega oportuna del producto al cliente, al menor coste, con la mejor calidad y con el mínimo uso de recursos.
7. Diseño de la red de distribución	Productor, procesador, centro de distribución y minorista	Al planificar el suministro y la entrega	Para garantizar el modo de suministro y de entrega más eficiente y rentable para toda la CS y que al final se refleje en un mejor servicio al cliente
8. Gestión de la calidad	Productor, procesador, centro de distribución y minorista	En producción, procesamiento, almacenamiento y distribución	Para garantizar el cumplimiento de las regulaciones vigentes, la fidelización del cliente y el posicionamiento en el mercado
9. Selección de tecnologías agrícolas	Productor y procesador	Al planificar la producción y al gestionar los procesos de clasificación, embalaje y etiquetado	Para el cálculo de previsiones de variables externas y así determinar qué, cuánto y cuándo producir. Para hacer más eficiente el procesamiento del producto
10. Asociaciones de colaboración en la FSC	Productor, procesador, centro de distribución y minorista	En toda la cadena de suministro	Para tener una mejor planificación y control de la producción de forma anticipada, para definir los niveles de actuación y responsabilidades de los actores de la CS, de acuerdo con las ventajas y potencialidades de cada uno de ellos con el fin de hacer más eficiente toda la red

Tabla 5. Caracterización de las decisiones en la FSC. Fuente: Elaboración propia.

**Planificación de la producción:** Esta decisión es muy importante porque incide directamente en la calidad de la fruta, la cual se ve diferenciada entre productores e incluso entre distintos lotes de un mismo productor; por lo que puede hacer una gran diferenciación a nivel competitivo. Esta decisión depende en gran medida de factores medioambientales como el clima y el suelo, y del tiempo que necesite la fruta para alcanzar el grado de madurez óptimo.

Como ya se había mencionado, una de las principales características del sector Agroalimentario es que tiene producción estacional, lo que en ocasiones dificulta el cumplimiento de demandas sostenidas durante todo el año; por lo que el productor debe decidir si planta cultivos en diferentes zonas y en diferentes momentos, para poder ser competitivo con ciertas frutas y sostener acuerdos a largo plazo con el minorista. En esta decisión inciden factores como el volumen de la demanda, los costos de producción, almacenamiento y transporte.

**Planificación de la distribución:** Lo relevante de esta decisión radica en que permite definir un esquema de organización y ejecución de actividades agrícolas importantes relacionadas con la recepción, el almacenamiento, el despacho y el transporte de las frutas hasta el consumidor final; por lo que afecta tanto el tiempo de suministro como la calidad del producto. Al igual que en la decisión anterior, en este caso deben tenerse en cuenta factores como la demanda, los costos de almacenamiento y de transporte, así como también el volumen de producción a gestionar ya que de esto dependen las políticas de transporte en cuanto a tamaño, tipo y frecuencia, y las políticas de los modelos de distribución en lo relacionado con la implementación de centros de distribución centrales o regionales. Todo esto con el objetivo de ser más competitivos en el mercado y alcanzar un mayor grado de satisfacción del cliente.

**Gestión de las condiciones de almacenamiento:** Tal como se ha mencionado, en el sector Agroalimentario es muy importante garantizar la frescura de la fruta y mitigar el riesgo de exceso de maduración y daño durante la red, por lo cual deben tomarse decisiones de inversión en técnicas de enfriamiento y control de temperatura tanto en almacenes como en vehículos de transporte. Puede ser ejecutada por varios de los actores de la cadena de suministro, por lo que es necesario que exista entre ellos buena comunicación y coordinación que garantice una equitativa distribución de costos y responsabilidades.

**Gestión del sistema de transporte:** Las frutas requieren de un tipo de transporte especial que garantice la temperatura adecuada para su conservación; además es importante que se determine el tamaño del vehículo, para optimizar el uso de su capacidad y reducir los costes. Esta decisión dependerá de las distancias, frecuencias de distribución, tipo de producto, economías de escala y acuerdos de colaboración. Es necesario analizar el comportamiento de todas las variables durante el proceso de toma de decisiones.

**Definición de tipos de embalaje:** La distribución del sector Agroalimentario se hace en diferentes unidades de agregación debido a facilidades de manipulación, almacenamiento, reducción de costos y unidad demandada. De acuerdo con la literatura, se distinguen 4 unidades diferentes: Unidad de envío (SU), unidad logística (LU), unidad comercial (TU) y unidad de consumo (CU) Verdouw et al. (2010). Se debe seleccionar la unidad que resulte más rentable y que pueda satisfacer las necesidades de los diferentes actores de la red.

**Planificación logística:** Esta decisión tiene incidencia a lo largo de toda la cadena de suministro, ya que su radio de actuación va desde la preparación del cultivo hasta la entrega del producto al consumidor final; por lo cual es una actividad compartida con todos los agentes de la cadena, lo que implica que debe haber una sinergia entre ellos y un adecuado flujo de

recursos y de información para que se pueda alcanzar una eficiencia en la planificación logística al menor coste posible. En esta decisión inciden factores relacionados con las políticas de aprovisionamiento, transporte, almacenamiento de materia prima, productos intermedios, productos finales y las políticas de distribución.

**Diseño de la red de distribución:** Otra decisión importante es determinar cómo se llevará a cabo el suministro y la entrega a lo largo de toda la red; puede escogerse entrega directa, entrega a través de un almacén central o transbordo por cross-docking. Para lo cual se debe hacer un análisis de variables relacionadas con el almacenamiento, transporte, recepción y despacho; y evaluar los costes en que se incurren. Esta decisión incide directamente en el tiempo de suministro y por ende en la calidad del producto, debido a su corto ciclo de vida y la importancia de su frescura.

**Gestión de la calidad:** Por la naturaleza misma de la fruta y las implicaciones que tiene en el consumo humano, es indispensable que se implementen controles de calidad y sistemas que cumplan con las normativas alimentarias existentes en el país. Así como garantías sanitarias a lo largo de toda la cadena de suministro para mitigar los riesgos de contaminación por descomposición de la fruta y por el uso de fertilizantes. Incluso a veces la fruta suele empaquetarse durante la cosecha para prevenir daños Verdouw et al. (2010).

Las técnicas para la gestión de la calidad estarán asociadas a la cadena de frío y a la existencia de ambientes con temperatura controlada; que permitan garantizar la frescura del producto en todo momento. También hace referencia al uso de fertilizantes durante el proceso de producción para reducir la incidencia de factores externos medioambientales en la calidad de la fruta.

**Selección de tecnologías agrícolas:** En el sector Agroalimentario es posible automatizar varios procesos, lo cual ayuda a hacer más ágiles y eficientes las tareas del

productor, el procesador y el centro de distribución. Algunos ejemplos de inversiones en tecnología pueden ser los tractores, cosechadoras y empacadoras autónomas, los drones industriales, cámaras, GPS, software, robots, bandas transportadoras, entre otros.

**Asociaciones de colaboración en la FSC:** Esta decisión se ve influenciada por las características de la demanda, su volumen, el posicionamiento en el mercado y el grado de confianza entre los actores de la cadena de suministro. Este tipo de acuerdos permiten que se tenga mayor control de la producción al poder adaptarla con anterioridad a las necesidades específicas de un cliente, además desencadena en un intensivo intercambio de información de oferta y demanda en la cadena de suministro debido a la formalización de las relaciones; lo cual favorece desde todo punto de vista la eficiencia de toda la red Verdouw et al. (2010)

## **7 LOCALIZACION DE LA INCERTIDUMBRE EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO**

A lo largo de esta investigación se ha podido concluir que el sector Agroalimentario se encuentra expuesto a varias fuentes de incertidumbre, principalmente fuentes del entorno y de información; las cuales afectan la viabilidad del modelo de negocio y la toma de decisiones de valor respectivamente.

Dentro de las fuentes de incertidumbre identificadas pueden mencionarse la variación del clima, las condiciones del suelo, la demanda, los competidores, la oferta, el tiempo de entrega, la disponibilidad, las plagas, las inundaciones, la erosión del suelo, el nivel de purificación del agua, la estacionalidad de los cultivos, la humedad, el incendio, el granizo, las malas hierbas y el estrés hídrico.

Por otro lado, también se ha podido identificar que las decisiones en los procesos de negocio pueden verse afectadas por la presencia de incertidumbre en la medición, en el proceso, en el modelo, en la estimación y en la implementación; lo que hace necesario que los agricultores desarrollen políticas al interior de las empresas que estén encaminadas a la reducción del impacto de la incertidumbre, como es el caso de las políticas de inversión en asesorías, software e instrumentos de medición; de la revisión, actualización y seguimiento continuo a la eficiencia de los procesos; del estudio y desarrollo del modelo matemático o estadístico que sea el más óptimo para los objetivos de la empresa; de la adecuada medición e interpretación de los patrones y valores que hayan resultado del proceso de estimación; y de las políticas de implementación de mejoras a través de técnicas y procedimientos que permitan una mejor gestión de los procesos de negocio.

Estos hallazgos mencionados anteriormente, reflejan un panorama Agroalimentario con alta presencia de incertidumbre tanto a nivel de variables externas procedentes principalmente de las condiciones medioambientales y de la demanda; como

a nivel de variables internas procedentes de los instrumentos de medición, su interpretación y la toma de decisiones a partir de sus resultados. Tal como se mencionó anteriormente, en esta investigación se analizará solo la incidencia de las fuentes de incertidumbre externas en la toma de decisiones del sector Agroalimentario.

Teniendo en cuenta la revisión del estado del arte y el resumen presentado en la tabla 2, se valorará qué fuentes de incertidumbre son más relevantes; para ello se tendrá en cuenta, no solo el número de veces que han sido mencionadas en los artículos científicos, sino también el impacto que tengan sobre tres aspectos que, de acuerdo con los temas leídos, se ven afectados en gran manera por fuentes de incertidumbre externas en el sector Agroalimentario. Estos aspectos son:

**1. Rendimiento de los cultivos:** Este aspecto se define como la producción total de un cultivo en una superficie de terreno determinada, el cual puede verse afectado por factores climáticos, condiciones del suelo, disponibilidad de agua, uso de pesticidas y fertilizantes, entre otros.

**2. Calidad de los productos:** Tal como se mencionó anteriormente, este aspecto hace referencia a que los productos Agroalimentarios deben ser distribuidos en el mercado en condiciones aptas de calidad y que no representen un riesgo para el consumo humano; para lo cual es importante que los agricultores identifiquen y controlen las fuentes de incertidumbre que la afectan directamente.

**3. Satisfacción del cliente final:** Este aspecto hace referencia a que se pueda ofrecer al consumidor final el producto que requiere cada vez que se acerque al punto de venta, para lo cual es necesario que se identifiquen patrones de consumo, que se definan políticas adecuadas de precios y de gestión logística, entre otras.

El grado de relación de las fuentes de incertidumbre con los aspectos anteriormente mencionados se muestra en una tabla, más adelante, según la siguiente escala:

**Nulo:** con un valor de 0

**Medio:** con un valor de 1

**Alto:** con un valor de 2

Para el procesamiento de los datos se usará el Método de Factores Ponderados, en el que se asigna un peso porcentual a cada uno de los aspectos según su grado de importancia. Los pesos asignados son los siguientes:

1. Rendimiento de los cultivos: 35%
2. Calidad de los productos: 45%
3. Satisfacción del cliente final: 20%

Finalmente, se calcularán los totales ponderados para cada una de las fuentes de incertidumbre analizadas, para así identificar cuáles de ellas pueden ser consideradas como las principales fuentes de incertidumbre en la cadena de suministro del sector Agroalimentario.

A continuación se muestra la tabla de relación de las fuentes de incertidumbre con los aspectos mencionados.

FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN SECTOR AGROALIMENTARIO																	
ASPECTOS	Variaciones del clima	Demanda	Competidores	Tiempo de entrega	Disponibilidad /oferta	Producción de los cultivos	Plagas	Inundaciones	Condiciones del suelo	Purificación del agua	Cantidades de retorno	Costes de transporte	Estrés Hídrico	Incendios	Decisiones institucionales	Precios del mercado	
35%	1. Rendimiento de Cultivos	2	2	0	1	2	2	2	2	1	0	0	2	2	1	1	
45%	2. Calidad de Productos	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	0	2	
20%	3. Satisfacción del Cliente	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<b>TOTALES PONDERADOS</b>		<b>2,00</b>	<b>1,55</b>	<b>0,85</b>	<b>1,65</b>	<b>1,55</b>	<b>2,00</b>	<b>1,80</b>	<b>1,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,10</b>	<b>0,65</b>	<b>1,80</b>	<b>1,80</b>	<b>0,55</b>	<b>1,45</b>	
6. Número de Citas		8	4	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	2	1	1	

Tabla 6. Relación de fuentes de incertidumbre con aspectos claves. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla 6, existen columnas que muestran relaciones altas entre las fuentes de incertidumbre y los aspectos claves; dando como resultados totales ponderados mayores o iguales a 1,80. También se identifican algunas columnas con relaciones medias que se reflejan en totales ponderados entre 1,45 y 1,65; y finalmente, ciertas columnas muestran relaciones bajas con totales ponderados menores o iguales a 1,10.

Con base en la información presentada en la tabla 6, se concluye que las principales fuentes de incertidumbre en la FSC son aquellas que han sido mayormente citadas en los artículos científicos y/o que muestran relaciones altas y medias con los aspectos claves en la gestión de la FSC. Estas fuentes de incertidumbre son:

1. Variaciones del clima
3. Demanda
3. Plagas
4. Inundaciones
5. Condiciones del suelo
6. Precios del mercado
7. Disponibilidad / oferta
8. Tiempo de entrega
9. Producción de los cultivos
10. Estrés hídrico
11. Incendios

Dentro de estas fuentes de incertidumbre se han identificado dos que destacan sobre las demás, ya que tienen los totales ponderados más altos y a su vez han sido muy mencionadas en los artículos científicos; por lo que puede concluirse que son las más importantes de todas. Estas fuentes de incertidumbre son: las variaciones del **clima** y la presencia de **plagas**.

Con esta lista de fuentes de incertidumbres identificadas y con la lista planteada en el apartado 7. de las principales decisiones en el sector Agroalimentario, se pretende alcanzar

el objetivo propuesto en esta investigación de ayudar a reducir la presencia de incertidumbre en el sector Agroalimentario, mediante la implementación de la Industria 4.0 o IoT.

Para lo cual, inicialmente se hará una asociación de las principales decisiones en la cadena de suministro del sector Agroalimentario con las fuentes de incertidumbre que generan mayor impacto, para que sea más fácil visualizar en cuál de ellas podría el IoT tener aplicabilidad y así ayudar a ser más eficiente la cadena de suministro en general.

A continuación se muestra la nomenclatura empleada para las decisiones y las fuentes de incertidumbre identificadas en la investigación hecha sobre el sector Agroalimentario y que se han planteado asociar:

***Decisiones en la cadena de suministro del sector Agroalimentario:***

- D1: Planificación de la producción
- D2: Planificación de la distribución
- D3: Gestión de las condiciones de almacenamiento
- D4: Gestión del sistema de transporte
- D5: Definición de tipos de embalaje
- D6: Planificación logística
- D7: Diseño de la red de distribución
- D8: Gestión de la calidad
- D9: Selección de tecnologías agrícolas
- D10: Asociaciones de colaboración en la FSC

***Fuentes de incertidumbre en la cadena de suministro del sector Agroalimentario:***

- F11: Variación del clima
- F12: Demanda
- F13: Plagas
- F14: Inundaciones
- F15: Condiciones del suelo

- FI6: Precios del mercado
- FI7: Disponibilidad / oferta
- FI8: Tiempo de entrega
- FI9: Producción de los cultivos
- FI10: Estrés hídrico.
- FI11: Incendios

Haciendo uso de la nomenclatura anterior, en la tabla 7, se muestra la asociación de las fuentes de incertidumbre identificadas en este trabajo, a la toma de decisiones en el sector Agroalimentario.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
	Producción	Distribución	Almacen.	Transporte	Embalaje	Logística	Red Distrib.	Calidad	Tecnología	Colaborac.
FI1 Clima	X		X					X	X	X
FI2 Demanda	X	X	X	X	X	X	X		X	X
FI3 Plagas	X							X	X	X
FI4 Inundación	X							X	X	X
FI5 Suelo	X							X	X	
FI6 Precios		X		X	X	X	X			X
FI7 Oferta		X	X	X	X	X				X
FI8 T. Entrega		X	X	X		X	X			
FI9 P. Cultivo	X	X	X	X			X	X		X
FI10 E. Hídrico	X							X	X	X
FI11 Incendios	X								X	X

Tabla 7. Asociación de incertidumbre a la toma de decisiones en la FSC. Fuente: Elaboración propia.

Al analizar las asociaciones planteadas en la tabla 7, se han podido identificar siete de ellas en las cuáles es viable la aplicación de la tecnología del IoT por las siguientes razones; una razón de esta selección se basa en que en la actualidad hay grandes avances en el desarrollo de dispositivos e instrumentos para la medición, monitorización, interpretación y control de variables externas de alta incidencia relacionadas con el **comportamiento del clima** y de la **naturaleza**, lo cual ofrece a los agricultores suficiente variedad, accesibilidad y disponibilidad de estos dispositivos en el mercado; haciendo más viable la propuesta que se hace en esta investigación.

La otra razón de las asociaciones identificadas para aplicación del IoT se basa en la importancia de controlar las variables que inciden directamente en la creación de valor para el consumidor final y por ende en la permanencia del agricultor en este mercado tan competitivo (como son la **demanda** y el **tiempo de entrega**), y para las cuales se han desarrollado acertadas aplicaciones del IoT que ayudan a reducir la incertidumbre inherente a éstas variables.

A continuación se mencionan siete decisiones del sector Agroalimentario que son viables de aplicación de la tecnología del IoT para la reducción de la incertidumbre inherente a ellas:

(D1;F1): Decisiones sobre planificación de la producción bajo la incertidumbre de las variaciones del clima

(D2;F2): Decisiones sobre planificación de la distribución bajo la incertidumbre de la demanda

(D4;F8): Decisiones sobre la gestión del sistema de transporte bajo la incertidumbre del tiempo de entrega.

(D8;F3): Decisiones sobre la gestión de calidad bajo la incertidumbre de plagas

(D8;F4): Decisiones sobre la gestión de calidad bajo la incertidumbre de las inundaciones

(D9;FI5): Decisiones sobre la selección de tecnologías agrícolas bajo la incertidumbre de las condiciones del suelo.

(D1;FI10): Decisiones sobre planificación de la producción bajo la incertidumbre del estrés hídrico

Para mayor claridad, estas asociaciones escogidas aparecen resaltadas abajo en la tabla 8.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
	Producción	Distribución	Almacen.	Transporte	Embalaje	Logística	Red Distrib.	Calidad	Tecnología	Colaborac.
FI1 Clima	X		X					X	X	X
FI2 Demanda	X	X	X	X	X	X	X		X	X
FI3 Plagas	X							X	X	X
FI4 Inundación	X							X	X	X
FI5 Suelo	X							X	X	
FI6 Precios		X		X	X	X	X			X
FI7 Oferta		X	X	X	X	X				X
FI8 T. Entrega		X	X	X		X	X			
FI9 P. Cultivo	X	X	X	X			X	X		X
FI10 E. Hídrico	X							X	X	X
FI11 Incendios	X								X	X

Tabla 8. Identificación de decisiones bajo incertidumbre en la FSC para aplicación del IoT. Fuente: Elaboración propia.

En el apartado 9. se presentará una propuesta de aplicación de la Industria 4.0 o IoT para las decisiones bajo incertidumbre identificadas en la tabla 8.

## 8 PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL IoT EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO

Como se ha podido mostrar en este trabajo, la propia naturaleza del sector Agroalimentario lo hace expuesto a varias fuentes de incertidumbre que tienen un gran impacto en las condiciones de la cosecha, en las características físicas de la fruta, en su conservación, calidad, disponibilidad, entre otras; para lo cual se ha propuesto en esta investigación el uso del IoT como herramienta para predecir el comportamiento de estas variables y ayudar a reducir la incidencia del riesgo existente.

La tecnología de la **Industria 4.0** o IoT tiene amplia aplicación en el sector Agroalimentario y permite a los agricultores y demás actores de la cadena de suministro contar con **información en tiempo real**, suficiente y veraz para hacer **mediciones** y **predicciones** importantes que se convierten en soporte para el proceso de toma de decisiones de valor en el modelo de negocio; además de que facilita la **interconectividad** a lo largo de toda la red permitiendo asociaciones de colaboración para el seguimiento y control de la fruta desde la granja hasta la entrega al cliente final, garantizando siempre la calidad del producto ofrecido.

En este apartado se presenta la propuesta de aplicación del IoT al sector Agroalimentario para la reducción de la incertidumbre; esto se hace para cada una de las decisiones seleccionadas en el apartado anterior.

***(D1;F1): Decisiones sobre planificación de la producción bajo la incertidumbre de las variaciones del clima:*** Para el agricultor es muy importante planificar sus cultivos teniendo en cuenta las condiciones del clima, así como las posibles variaciones que puedan presentar en un momento determinado; debido a que esta variable tienen una incidencia directa en el crecimiento adecuado de la planta y la calidad de su fruto.

Para la medición y control de estas variables el agricultor puede hacer uso de la Industria 4.0 ya que ésta actualmente ofrece información oportuna y confiable que ayuda a la reducción de la incertidumbre relacionada con el comportamiento de las variables y por ende sirve de soporte para el proceso de toma de decisiones sobre planificación de la producción.

**Las variaciones del clima** se ven influenciadas principalmente por la temperatura, nubosidad, humedad, precipitaciones y vientos. Basándose en el IoT se propone hacer uso de **sensores** de temperatura, de humedad del aire, de dirección y velocidad del viento, de pluviometría y radiación solar; para valorar en forma global las condiciones atmosféricas y contar con información suficiente para la toma de decisiones de **siembra, riego, fertilización, cosecha**, entre otras.

La instalación de los sensores puede hacerse en forma independiente o a través de mononodos, lo cual tiene como ventaja que no necesita de otros nodos para la transmisión final de la información, sino que se trata de un dispositivo con varios sensores que conecta directo con la nube y que sus baterías son recargables mediante paneles solares; lo que permite una mayor agilidad en el suministro de datos y una reducción de costes para el agricultor.

Otra alternativa que se propone en este caso es el uso de **Sondas digitales** de radiación solar, temperatura y humedad ambiental, gases y condiciones del viento; las cuales mediante la tecnología **GPRS** se comunican también en forma directa con la nube enviando información en tiempo real y permitiendo al agricultor el monitoreo permanente de los datos. Con este sistema se logra la **predicción** de variables relacionadas con las **condiciones atmosféricas** y que potencialmente pueden afectar el rendimiento de los cultivos; facilitando las decisiones acertadas y oportunas sobre qué y cuándo cultivar y cuál es el mejor momento para cosechar.

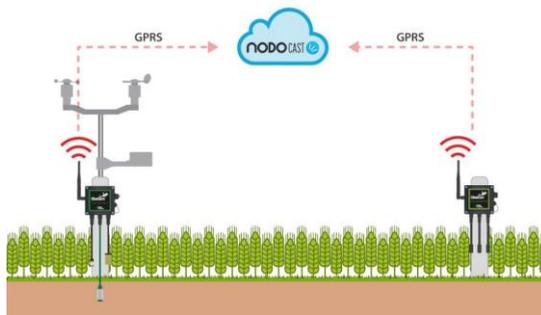


Ilustración 3. Sondas digitales para predicción de condiciones atmosféricas. Fuente: Web

Las variaciones en el clima pueden afectar no solo las plantas sino también las semillas, las cuales suelen estar almacenadas antes de ser sembradas en la granja; con ayuda del IoT se puede disponer de dispositivos que permiten monitorear y controlar el estado de las semillas, para así poder reaccionar ante posibles daños. Esto se puede lograr mediante la instalación de **sensores en los “silobag”** o bolsas de almacenamiento, los cuales miden las condiciones existentes y las comunican a un dispositivo que a su vez transmite alertas en caso de variaciones, al móvil del agricultor con ayuda de la tecnología **GSM**; esto permite optimizar esta labor que antes se solía hacer en forma manual con el atenuante de las pérdidas por detecciones tardías y la generación de costes extras.

De manera más específica para las mediciones de la velocidad y dirección del viento, se propone el uso de **sensores conectados al móvil**, de los cuales hay un modelo que dispone de imanes que captan la variación del campo magnético y generan un impacto en la brújula interna del móvil, que mediante la funcionalidad del APP traduce estos datos en **medidas de velocidad del viento**, siendo un indicador para el agricultor de si esta variable puede afectar o no el rendimiento del cultivo en un momento determinado y que podría conducir a la implementación de cortavientos como

mallas textiles, vallas o cañas para la protección del cultivo en caso de ser necesario; con esto se evita que se caigan frutos que aún no estén maduros, que se quiebren plantas o que se retarde su crecimiento.



Ilustración 4. Sensor para medir la velocidad del viento. Fuente: Web

Existe otro modelo de sensor que hace uso de las señales de ondas sonoras que el APP del móvil registra y las traduce a medidas de **velocidad** y **dirección** del **viento**, independientemente de la ubicación del agricultor en la zona. También permite tener registros históricos de las últimas mediciones, mostrando patrones de tendencias y facilitando las previsiones.



Ilustración 5. Sensor para medir la velocidad y dirección del viento. Fuente: Web

Finalmente se puede sugerir un modelo de sensor que cumple 2 funciones, una como **medidor del viento** al suministrar datos sobre su velocidad, dirección y la temperatura del aire; y otra como estación meteorológica al proporcionar información sobre la **humedad** y la **presión del aire**. Tiene como ventaja que presenta las medidas sobre un mapa mediante geolocalización y además permite ver las medidas realizadas por otros agricultores.

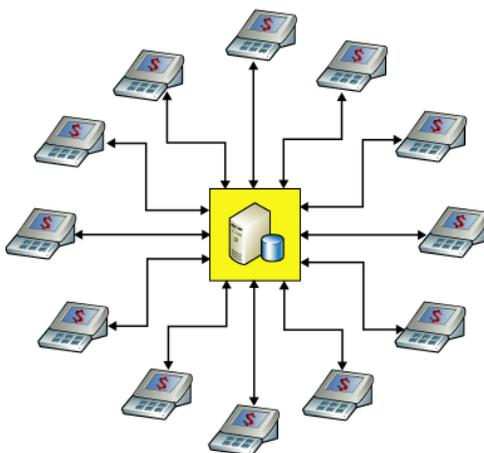


Ilustración 6. Sensor medidor de viento, humedad y presión del aire. Fuente: Web

***(D2;FI2): Decisiones sobre planificación de la distribución bajo la incertidumbre de la demanda:*** En el sector Agroalimentario es alta la incidencia que tiene la previsión de la demanda en el proceso de planificación de las actividades de distribución, ya que contribuye a lograr una **gestión** eficiente de los **recursos**, de los **recibos**, de los **despachos** y de las **rutas**; ayudando a la disminución de los inventarios y a la reducción de costes a lo largo de toda la cadena de suministro.

Con ayuda del IoT es posible obtener datos en tiempo real de la demanda, ayudando a que sus previsiones sean mejores, ya que no se basa sólo en la información histórica de consumo que suele no ser siempre un buen reflejo de lo que sucederá en el futuro. Por lo tanto, para ayudar a reducir la incertidumbre de la demanda se propone el uso de

**aplicaciones de POS** (point of sale) que recopilan y transmiten informaci3n de las ventas realizadas en el punto de venta en tiempo real para cada uno de los productos, en frecuencias cortas (cada 15 minutos, por ejemplo) determinadas por los agentes de la cadena de suministro involucrados, mediante la lectura de sus respectivos c3digos de barras; gracias a ello se pueden detectar **picos estacionales de consumo** de determinados productos, identificar productos de **poco movimiento** o estancados y **planificar** las campañas de **venta** y el **inventario** de acuerdo a la demanda.



Ilustraci3n 7. Aplicaciones de POS para medici3n de demanda. Fuente: Web

Esta informaci3n luego es recibida en el software de ventas del agricultor para que con estos datos provenientes directamente de los clientes, alimente su informaci3n de pron3stico de la demanda y la combine con los datos hist3ricos para as3 obtener seales de demanda m3s reales; lo cual, como ya se ha mencionado anteriormente, permite llevar a cabo previsiones m3s acertadas y ayuda a responder

adecuadamente a las demandas repentinas y/o a la disminución de los patrones de consumo.

El funcionamiento de estas aplicaciones consiste en la transmisión de datos desde sitios remotos, como las tiendas y supermercados hasta un centro de datos para que sea procesada, que puede ser directamente un agricultor o una ubicación central común que luego direcciona a cada agricultor la información relacionada con la venta de sus productos.

**El beneficio de estas aplicaciones** radica en que ayuda a hacer un **mejor pronóstico de la demanda, a optimizar el inventario y a generar propuestas de reaprovisionamiento y entrega para el proceso de distribución**. Con ayuda de esta herramienta durante el proceso de planificación de la distribución en la cadena de suministro, es posible calcular en forma más precisa las necesidades de pedido de recarga en el día anterior para las entregas frecuentes de bajo volumen que se harán al día siguiente a los respectivos procesadores y centros de distribución; optimizando rutas y frecuencias de despacho.

Por lo tanto, se puede concluir que la propuesta planteada en esta investigación para el uso del IoT en las necesidades de pronóstico de la demanda ayuda a reducir la incertidumbre inherente a su comportamiento y direcciona a que la cadena de suministro del sector Agroalimentario esté impulsada por la demanda; hecho que se considera esencial para **reducir** y controlar los excesos de **inventario**, los **costes de almacenamiento y transporte** y las **pérdidas de ventas** y de **fidelización** de los consumidores finales por la ausencia de los productos en los puntos de venta.

Otra propuesta que se hace en esta investigación para los cálculos de pronóstico de la demanda está basada en el estudio de Yerpude and Singhal (2017) y consiste en el uso del internet para la recopilación automática de datos en tiempo real sobre los patrones de consumo del cliente final, esto mediante la comunicación múltiple y colaborativa de **nodos**,

**servidores, sensores, chips RFID, señalización digital, clusters** (conjunto de ordenadores unidos por una red), **hardware** y **software**; permitiendo el almacenamiento de datos transmitidos por los sensores y los chips en una red global para la posterior interpretación y análisis a través del modelo analítico de previsión de demanda del agricultor, para luego servir de apoyo a la toma de decisiones de distribución en el proceso de negocio.

Como **ventajas** en el uso de esta herramienta puede mencionarse que la agilidad con la que se reciben los datos reales de consumo ayuda a los agricultores a **rectificar el rumbo de decisiones** equivocadas de producción, almacenamiento y distribución tomadas con anterioridad y a **reaccionar** con mayor rapidez a **problemas operativos** que se deriven de las mismas. Además permite que su negocio sea más competitivo al tener la posibilidad de **conocer** en el menor tiempo posible **variaciones** significativas en los patrones de comportamiento **del mercado**, reaccionar a los mismos, reducir costes y lograr una mejor capacidad de servicio al consumidor final.

***(D4;FI2): Decisiones sobre la gestión del sistema de transporte bajo la incertidumbre del tiempo de entrega:*** Durante la logística de los productos Agroalimentarios a lo largo de toda la cadena de suministro es necesario **gestionar** adecuadamente la **cadena de frío** para garantizar su conservación, frescura y calidad. Es por esto que los agricultores, procesadores, centros de distribución y minoristas deben tomar decisiones acertadas sobre almacenamiento y transporte de los productos, de manera que sean válidas bajo condiciones normales de funcionamiento y que también puedan soportar inconvenientes en el proceso de distribución, especialmente los que tienen que ver con la presencia de **incertidumbre** en el tiempo de entrega; ya sea debido a **alteraciones del tráfico**, a **imprevistos de la naturaleza**, a **averías en los vehículos**, a **demoras en documentación**, a **inspecciones imprevistas**, a **retrasos en el recibo de la**

**carga, a la eficiencia de los conductores, a los controles de tráfico**, entre otras.

En esta investigación se propone hacer uso de la Industria 4.0 ó IoT para solventar estos inconvenientes; para lo cual se sugiere optar por el concepto del **packaging inteligente** que dispone de **sensores** en cada embalaje para el envío de datos en tiempo real sobre el estado de los productos; vía red celular o wifi a una plataforma para su procesamiento y análisis. Dentro de la información suministrada por los sensores se puede mencionar: **Geolocalización** del pedido, **temperatura** del producto, **humedad** a la que esta expuesta la mercancía, **contacto y golpes** que puede sufrir la carga.



Ilustración 8. Sensores para medir temperatura, humedad y contacto en packaging.  
Fuente: Web

Con estos datos se puede determinar si se deben hacer variaciones en las rutas, si el tipo de transporte que se usa cumple con las condiciones de refrigeración y control de humedad adecuadas o no y si se deben exigir mejores condiciones de distribución de la carga en el medio de transporte para reducir los daños del producto; de esta forma es posible que los actores de la red de suministro garanticen la

entrega de un producto de calidad al consumidor final aunque se gestione la distribución en un ambiente de incertidumbre en el tiempo de entrega.

Los beneficios en el uso de esta tecnología consisten en que brinda la posibilidad de dar solución a las discrepancias detectadas, permite ofrecer al cliente una retroalimentación en tiempo real del estado de su mercancía y dar una respuesta inmediata ante la presencia de incidencias derivadas del proceso como tal.

Como otra propuesta se plantea el uso de un **APP** que permite una interfaz entre los actores de la cadena de suministro y que puede descargarse en los **dispositivos móviles** de los conductores para monitorear el estado de la mercancía que va en tránsito y para agilizar los procedimientos de recibo y despacho; ya que permite que el conductor registre con anticipación los productos que cargará o descargará en un muelle y envíe la documentación relacionada; permitiendo que el siguiente actor en la cadena conozca su tiempo estimado de llegada, tenga preparado el lugar de estacionamiento y haga una confirmación de los datos en menos tiempo; logrando que se haga el proceso más eficiente y se reduzca su incertidumbre inherente.

Esta integración permite además obtener información relevante de la operación de transporte, como el número de **entregas a tiempo**, la **evidencia electrónica de las entregas** con las firmas digitales o alertas en tiempo real de **problemas en ruta**. Las aplicaciones del IoT pueden potencializarse tanto como se quiera, por ejemplo, con este tipo de tecnologías también es posible que se haga una interfaz con el dispositivo inteligente del consumidor final y que cuando éste realice una compra online, el conductor del camión pueda recibirla y realizar un escaneo de los productos que lleva; luego en el caso de tenerlo disponible y que esté dentro de sus rutas programadas, decidir realizar la entrega, lo cual se podría lograr en un tiempo casi inmediato. Esta condición sería válida siempre que hayan conexiones en tiempo real entre la gestión

de entregas en la última milla, la administración logística y los consumidores finales.

Otra variable importante que debe considerarse en este tema es la gestión de las rutas, ya que permite controlar y reducir los tiempos de entrega. Para ello se debe contar con **sistemas de planificación de rutas** que se alimenten con datos sobre la distancia entre los sitios de entrega, la capacidad de carga de cada vehículo, los tipos de colocación de los productos, la ubicación de los camiones, la presencia de congestiones de tráfico, entre otros. Para lo cual se propone el uso de **GPS**, **e-Call**, la información suministrada por otros vehículos en la **web** y **software** y **aplicaciones telemáticas** que permitan integrar toda la información en tiempo real y así tener bases para la **toma de decisiones de reordenamiento de rutas**.

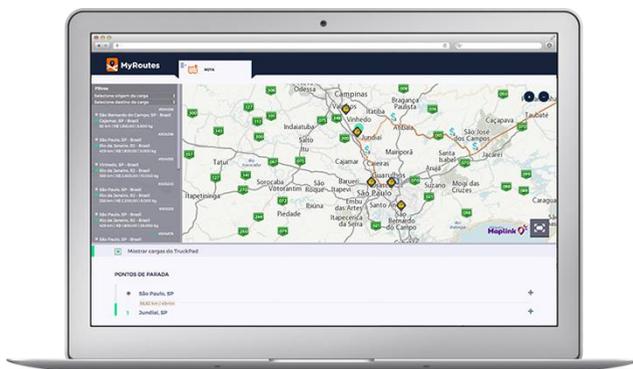


Ilustración 9. Sistema de planificación de rutas. Fuente: Web

Esto se puede complementar con la instalación de **sensores integrados** en los medios de transporte para la recepción de datos sobre fallas mecánicas, necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo y estado de los sistemas de seguridad del vehículo; de manera que se pueda **prevenir la ocurrencia de incidentes** que afectarían

directamente el cumplimiento del tiempo de entrega estimado, la satisfacci3n del cliente y el control de los costes de operaci3n.

Por otro lado, se sugiere el uso del **tac3grafo inteligente** que permite que el conductor pueda reservar parkings, cancelar peajes telemáticos anticipadamente y que ayuda a **reducir las paradas innecesarias** por parte de los organismos de tránsito; ya que con ayuda del GPS permite que se acceda en forma remota a datos sobre el tiempo de trabajo, los descansos de los conductores, la velocidad en que se movilizan y la cantidad de kil3metros que han recorrido; evitando los retrasos por la inmovilizaci3n del vehículo y ayudando a cumplir con el tiempo de entrega.



Ilustraci3n 10. Tac3grafo inteligente. Fuente: Web

**(D8;F13): Decisiones sobre la gesti3n de calidad bajo la incertidumbre de plagas:** El soporte que proporciona el IoT para el control de plagas en el sector Agroalimentario consiste en varias herramientas, una de ellas es una plataforma de **computaci3n en la nube** que permite al agricultor crear modelos de predicci3n en tiempo real y

relaciones no lineales entre grupos ecológicos de plagas; esta plataforma trabaja con servidores, redes, plataformas SAAS y PAAS, Bo and Wang (2011)

La plataforma de computación en la nube permite el monitoreo y la recopilación de datos en tiempo real de dispositivos sensores inalámbricos sobre factores, videos e imágenes de la fruta y luego los transmite mediante tecnología **GPS móvil** para hacer análisis con algoritmos estadísticos y matemáticos y generar modelos de advertencia de plagas, de crecimiento del cultivo y bases de datos que faciliten el posterior monitoreo de las plagas existentes.

La ventaja de esta herramienta es que es económica, confiable, práctica y de alta eficiencia; lo que le permite al agricultor tomar **decisiones** acertadas de aplicación de **pesticidas** y **fertilizantes** en el momento y en la cantidad más adecuada, logrando así reducciones en los costes inherentes.

Otra herramienta que puede aplicarse para el control de las plagas es un modelo de **Big Data**, sobre todo en granjas expuestas a variaciones climáticas que favorecen la proliferación de plagas, como es el caso de ambientes muy húmedos y con gran presencia de lluvias, y de ambientes secos de altas temperaturas y con mucho viento.

Con el Big Data es posible obtener medidas y correlaciones de estas variables medioambientales, mostrando como la cantidad de lluvia, la velocidad o dirección del viento pueden orientar el patrón de desarrollo y distribución de una determinada plaga. Para la captura, procesamiento y transmisión de datos se usan **sensores remotos**, luego son analizados en el modelo Big Data y finalmente se le reporta al agricultor en su dispositivo móvil información relevante como por ejemplo la cantidad y la ubicación de las plagas.

El uso del Big Data permite obtener datos para la toma de **decisiones** al momento de **cultivar y tratar la tierra**, el establecimiento de **métodos preventivos**, la planificación

eficaz del uso de **pesticidas**; lo cual ayuda a la reducción de los costos de producción, al logro de cultivos más eficientes y de mejor calidad.



Ilustración 11. Transmisión de datos de sensores remotos a dispositivos móviles.  
Fuente: Web

En algunos casos el uso del Big Data permite tomar decisiones alternativas para el control de plagas, como cuando se detecta que la incidencia de ciertas plagas tiene una mayor relación con el viento, permitiendo **implementar rompavientos** en la dirección de mayor incidencia para evitar la proliferación de la plaga, siendo esta una solución de más bajo costo que el uso de agroquímicos.

Como tercera herramienta para el control de plagas en el sector Agroalimentario, se propone el uso de la tecnología de **LPWAN** o redes de larga distancia y baja potencia; la cual permite tener miles de **sensores remotos** recopilando y enviando datos a menor costo y con mayor alcance. Estos sensores instalados en los cultivos emiten avisos a los agricultores mediante correos electrónicos o mensajes de texto a sus dispositivos móviles, en lo relacionado con las condiciones favorables que se están presentando para la proliferación de plagas y enfermedades en la fruta.



Ilustración 12. Sensores remotos para control de plagas y enfermedades.  
Fuente: Web

Con la información que reciben los agricultores mediante esta tecnología, desarrollan en sus empresas **acciones preventivas y correctivas** para el control de las plagas en sus cultivos, logrando así reducción de costes, mejora en los procesos y en el cuidado de los cultivos ya que se consigue una mejor calidad de los productos.

Otra aplicación del IoT que se propone para reducir la incertidumbre por la presencia de plagas en los cultivos es el uso de **Drones**, los cuales al sobrevolar las granjas detectan mediante **sensores** muestras de enfermedades en las hojas y cambios en su color habitual; luego envían imágenes y mensajes de alerta a los agricultores. Al procesar estas imágenes se conoce con exactitud que zonas o plantas particulares necesitan ser fumigadas, esto se traduce en una hoja de ruta para el dron que se encarga de realizar con **acertada** precisión la tarea de **fumigación**.

Otra utilidad de los drones es que al estar provistos de cámaras infrarrojas pueden recoger la luz reflejada por las plantas la cual es indicador de la efectividad de su proceso de

fotosíntesis y por ende de su **estado de salud**, identificando cuáles necesitan en forma **preventiva y correctiva** de **pesticidas y fertilizantes**.

La principal ventaja de los drones es su posibilidad de abarcar en tiempo real grandes extensiones de cultivos, antes imposibles de controlar por los agricultores, quienes muchas veces hacían detecciones tardías de las plagas poniendo en riesgo toda o gran parte de su cosecha.

El uso del IoT en estos casos permite que se mantengan cultivos más sanos y se optimice el uso de fertilizantes y pesticidas, se **reduzca el vertido de químicos** que hacen más resistentes las hierbas malas y se garantice la producción de alimentos con los mínimos recursos posibles, menos contaminación y con la mejor calidad, logrando así disminuir las consecuencias desfavorables tanto desde el punto de vista medioambiental como económico.



Ilustración 13. Dron para la aplicación de fertilizantes y pesticidas. Fuente: Web

**(D8;F14): Decisiones sobre la gestión de calidad bajo la incertidumbre de las inundaciones:** Desde el punto de vista de la gestión y control de inundaciones, es posible también el uso de aplicaciones del IoT como la **tecnología LPWAN** en una red amplia de **sensores** que pueda hacer

mediciones del comportamiento hídrico de una determinada zona y **predicciones tempranas** de fuertes **lluvias** por cambios climáticos inesperados, generando alertas a tiempo que permitan a los agricultores reaccionar y optimizar su proceso de toma de decisiones.

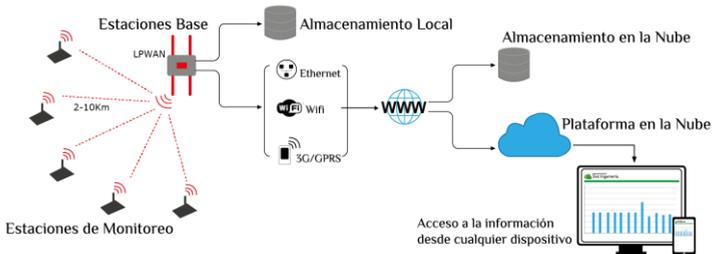


Ilustración 14. Aplicación LPWAN para la predicción de lluvias. Fuente: Web

Dentro de las **decisiones** que puede tomar un agricultor para **proteger su cultivo de las inundaciones** pueden mencionarse las relacionadas con: Abrir canales de drenaje, sembrar de manera escalonada, evitar deforestar las riveras de los ríos, cosechar con prontitud los cultivos que ya estén maduros, garantizar inclinaciones adecuadas en el terreno para que el agua escurra, aplicación preventiva de químicos para los hongos y bacterias que pueden desarrollarse en las zonas encharcadas y sembrar bajo práctica de conservación de suelos (poca labranza y sembrar en contra de la pendiente), entre otras.

Una de las ventajas del uso de este tipo de redes es que usan sensores de muy bajo consumo, con poco gasto de batería y con total posibilidad de acceso incluso para la medición de los niveles de agua subterránea en los cultivos.

Otra posibilidad que se propone para el control de las inundaciones es el uso de varios **sensores inteligentes de ultrasonido** como mecanismo para la detección y medición de parámetros relacionados con el flujo de líquido en los cultivos.

Este sistema tiene una conexión directa y automática con la “Nube” generando un **Big Data** en tiempo real y en línea, que ayuda a los agricultores a la interpretación correcta de las condiciones actuales del clima, del suelo y subsuelo y que suministra predicciones medioambientales que alertan sobre el riesgo de inundaciones en los cultivos y de alteraciones que pueda sufrir el suelo en lo relacionado con la fertilidad, características fisicoquímicas o con posibles contaminaciones; esto debido a que la inundación puede arrastrar suelos de diferentes textura, salinidad o aguas residuales.

Se recomienda en todas estas aplicaciones que la red de sensores sea de **conectividad inalámbrica** ya que la presencia de cables es perjudicial dado que con frecuencia pueden dañarse en el desarrollo de actividades agrícolas habituales como es el caso de la labranza. Algunos ejemplos de sensores móviles de bajo costo, fiables y con gran alcance son **LoRaWAN** y **SIGFOX**. Su alcance de transmisión es de 10 km, la velocidad de datos puede alcanzar entre 300 bits/s y 50 kbits/s, similar a la de las actuales conexiones GPRS.



Ilustración 15. Sensores de ultrasonido para medición de flujo de líquido en cultivos.  
Fuente: Web

**(D9;F15): Decisiones sobre la selección de tecnologías agrícolas bajo la incertidumbre de las condiciones del suelo:** La importancia de conocer las condiciones del suelo radica en que permite determinar qué tan fértil o no es un terreno antes y durante el cultivo, y por lo tanto que el agricultor conozca qué tipo de tratamiento requiere para garantizar una producción óptima, ya sea mediante regulación de su PH, humedad, temperatura o niveles de su materia orgánica, entre otros.

Para la medición y control de estas variables el agricultor puede hacer uso de la Industria 4.0, ya que ofrece información sobre la medición de sus valores y patrones de comportamiento, lo que ayuda a reducir su incertidumbre y sirve de apoyo a la toma de decisiones relacionadas.

Para el control de las condiciones del suelo se propone en esta investigación, realizar inversiones en **sensores de humedad** que permiten la medición de las condiciones de humedad del suelo antes, durante y al finalizar el proceso de siembra y de cosecha; lo que permite al agricultor llevar a cabo un **control** más estricto del **rendimiento** de sus **cultivos**.

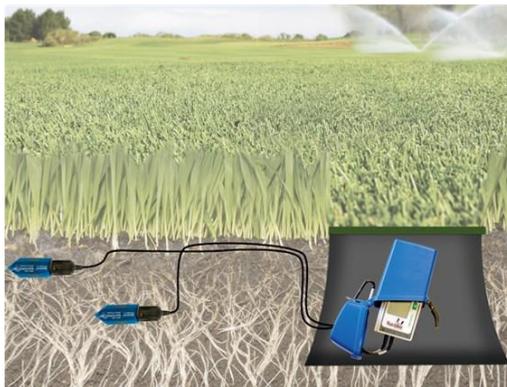


Ilustración 16. Sensores de humedad del suelo. Fuente: Web

La humedad del suelo también se ve alterada si no se dispone de un **sistema de riego** adecuado en la granja, por lo que como complemento al dispositivo anteriormente mencionado, se sugiere tener también **sensores de presión** que puedan determinar si el flujo de agua en las tuberías es el correcto o no y gracias a su conexión con internet, pueda enviar mensajes al agricultor para que pueda hacer los ajustes necesarios y evitar obstrucciones o inundaciones por daños.

Para las mediciones de suelo también se propone combinar el uso de **sensores y GPS** incorporados a la maquinaria agrícola para lograr sobre el propio terreno tomar **muestras georeferenciadas** de las características del suelo relacionadas con su PH, nivel de nutrientes como el potasio, fósforo y nitrógeno, entre otros; y elaborar mapas que ayuden al agricultor a saber según el **tipo de suelo** que variedad de cultivo **tendría un mejor rendimiento** y a establecer planes para la **aplicación de fertilizantes** según las insuficiencias que presente la zona analizada.



Ilustración 17. Sensores y GPS en maquinaria para medir rendimiento del suelo.  
Fuente: Web

También se sugiere el uso de **Mapas de Rendimiento (MR)** que permiten conocer el rendimiento del suelo en una zona determinada gracias a imágenes georeferenciadas del suelo, dividido en celdas en una escala de colores, que en una forma sencilla puede conseguirse con la ayuda de un **sensor** y un **SPG** ubicados en una cosechadora combinada. Resulta muy recomendable combinar los **MR** con mapas de maleza para que el agricultor cuente con un sistema de soporte a las decisiones que le permitan **planificar** según se requiera, las **dosís de agroquímicos, fertilizantes, semillas y riegos**. Para su funcionamiento, los datos obtenidos son analizados en el ordenador de la maquinaria agrícola para ajustar en forma automática las dosificaciones de dichos insumos.

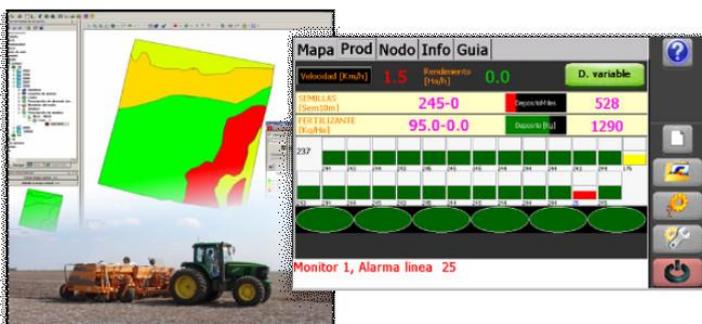


Ilustración 18. Mapas de rendimiento de suelos. Fuente: Web

Otra aplicación del IoT para el estudio de suelos son las **Redes Inalámbricas de Sensores WSN** (Wireless sensor networks) que permiten analizar el estado de **desgaste de la tierra** y genera alertas sobre la posibilidad que tienen de convertirse en terrenos áridos que ocasionen perjuicios a la actividad agrícola. Esta información le facilita al agricultor la toma de decisiones para el tratamiento del suelo y la implementación de políticas adecuadas para garantizar la sostenibilidad de su producción agrícola.

También se sugiere el uso de redes WSN para la implementación de **Sistemas de Riego Inteligente**, que pueden detectar a través de los **sensores** señales de temperatura, luz, humedad y realizar mediciones de PH. Esta red está dispuesta de un nodo, un procesador, una estación, un módulo de radiofrecuencia, una tecnología de comunicación, un Gateway, un servidor y una interfaz para permitir el análisis de datos por parte de agricultor; mostrando reportes y gráficos de las mediciones realizadas.

De la misma forma de las herramientas anteriores, los resultados de esta tecnología permiten al agricultor tomar decisiones acertadas sobre la necesidad de **herbicidas**, **fertilizantes** y **necesidad de riego** que tiene el terreno, ayudando a la reducción de costes y a la eficiencia de la producción.



Ilustración 19. Redes WSN para sistemas de riego inteligente. Fuente: Web

**(D1;F110): Decisiones sobre planificación de la producción bajo la incertidumbre del estrés hídrico:** Como resultado de los cambios climáticos globales se presentan alteraciones en la disponibilidad de los recursos naturales y se hace necesario que los agricultores los reconozcan y se

adapten a ellos para poder alcanzar un desarrollo sostenible y la permanencia en el mercado.

Una de las principales dificultades es el estrés hídrico, ya que el agua constituye un recurso vital para las actividades agrícolas y su escasez tiene implicaciones directas en el rendimiento de los cultivos y en la calidad de sus productos. Por tal motivo, sigue creciendo la tendencia actual de desarrollar la agricultura inteligente y hacer uso de la tecnología del IoT para reducir la incertidumbre en el comportamiento de esta variable.

En esta investigación se propone medir y controlar en tiempo real las masas de agua de las cuencas mediante el uso de **sensores** en sitios estratégicos que proporcionan información sobre el suministro del agua y que luego envía datos a una plataforma para simular y predecir el comportamiento y evolución de las masas de agua y los patrones de distribución con base en la disponibilidad existente y las prioridades de utilización definidas.

Se propone además, como forma de complementar la tecnología anteriormente mencionada, la implementación por parte del agricultor de **programadores de riego inteligentes, red de sensores y estaciones meteorológicas** en sus cultivos y así obtener beneficios importantes como información sobre el consumo real de agua en sus actividades de riego, el tiempo que tarda el proceso y los costes que genera, conocer las variaciones climáticas que puedan afectar el rendimiento de su cultivo y ajustar el riego a las necesidades reales (por ejemplo, no regar si llueve), poder adecuar el sistema inteligente de riego al estado y el tipo de las plantas, información sobre la calidad del agua, entre otras.

Toda esta información permite que el agricultor pueda monitorizar, controlar y **hacer más eficiente el uso de agua** en su producción como respuesta a la incertidumbre del estrés hídrico.

Otra forma de medir en la agricultura el estrés hídrico es a través de **sensores inalámbricos microelectro-mecánicos (MEMS)** colocados en las hojas de la planta, los cuales transmiten datos en tiempo real a un servidor para su posterior análisis e interpretación. La información suministrada por los sensores indica si hay alteraciones en los niveles de crecimiento de la planta, si hay debilidad en su estructura y si las hojas están secas y próximas a caerse; lo cual es una consecuencia de la falta de agua para sus procesos vitales.

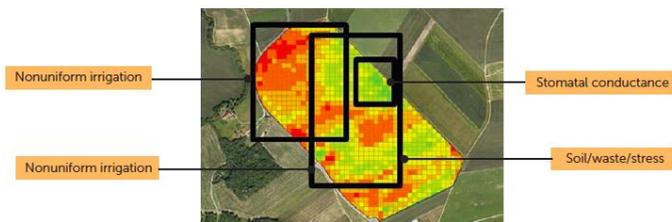


Ilustración 20. Sensores MEMS para medir estrés hídrico en las hojas. Fuente: Web

Luego estos datos son usados para alimentar un **sistema de riego inteligente** que permite programar los riegos racionalmente de acuerdo a las necesidades reales de cada cultivo y genera un calendario de riego que puede ser consultado por el agricultor en su teléfono móvil a través de una **APP**, con ayuda de **soluciones de conectividad**. El beneficio de esta tecnología es que permite al agricultor lograr un **equilibrio entre el rendimiento y la calidad de sus cultivos y el consumo de agua**, lo cual es bastante relevante bajo condiciones de incertidumbre del estrés hídrico.

Otra propuesta que se hace en esta investigaci3n para la medici3n del estr3s hídrico en el sector Agroalimentario es la basada en el estudio de Roopaei et al. (2017) que menciona la importancia de gestionar sistemas de riego automatizados y métodos de fertirrigaci3n para reducir los desperdicios en el uso del agua y de los fertilizantes; y contribuir así a mejorar la calidad de la planta y de su fruto.

Se sugiere el uso de **sensores de suelo** para recolectar datos relacionados con el fluido del agua a través de la tierra, las variaciones en la humedad del suelo, temperatura, niveles de nitr3geno y carbono; también se propone el uso de **imágenes térmicas** de las zonas de cultivo proporcionadas por sensores que sirven para reflejar los aumentos de temperatura en la planta al verse alterado su proceso de evotranspiraci3n cuando se encuentra ante insuficiencia de agua; con el análisis de estos datos el agricultor puede **planificar las actividades de riego y de fertilizaci3n** adecuadamente y disminuir el estr3s hídrico del cultivo, mejorando el rendimiento de su producci3n.



Ilustraci3n 21. Imágenes térmicas para medir temperatura de la planta. Fuente: Roopaei et al. (2017)

Por último se propone el uso de la **nube** y el **sistema ciberfísico (CPS)** para lograr mediante la transferencia de datos entre dispositivos y sensores conectados a internet que proporcionan informaci3n sobre calor, humedad, estr3s hídrico, productos químicos, nivel de recursos hídricos, entre

otros; **automatizar tareas de riego, fertilización y aplicación de pesticidas**. La ventaja del uso de estas tecnologías es que proporciona al agricultor informes de rendimiento y estadísticas en tiempo real sobre las condiciones del cultivo, y que por estar en la nube tiene facilidad de acceso y la posibilidad de una adecuada sincronización y procesamiento de los datos, además de que permite si se quiere, comunicación con dispositivos móviles inteligentes.

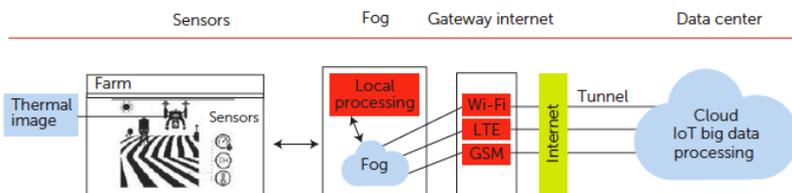


Ilustración 22. Aplicación en la nube basada en sistema de riego automático. Fuente: Roopaei et al. (2017)

## 9 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de esta investigación, se ha demostrado que ha sido posible alcanzar el primer objetivo planteado para este trabajo; identificándose como principales decisiones en la cadena de suministro del sector Agroalimentario las relacionadas con la planificación de la producción, la planificación de la distribución, la gestión de las condiciones de almacenamiento, la gestión de los sistemas de transporte, la definición de los tipos de embalaje, la planificación logística, el diseño de la red de distribución, la gestión de la calidad, la selección de las tecnologías agrícolas y las asociaciones de colaboración en la FSC.

Por otro lado, también se ha demostrado que se ha logrado el segundo objetivo planteado para este trabajo; ya que se han identificado las principales fuentes de incertidumbre del sector Agroalimentario; las cuales se relacionan a continuación: variaciones del clima, demanda, plagas, inundaciones, condiciones del suelo, precios del mercado, disponibilidad/oferta, tiempo de entrega, producción de los cultivos, estrés hídrico e incendios.

Al finalizar esta investigación, se concluye que el sector Agroalimentario está expuesto a fuentes de incertidumbre que afectan directamente el rendimiento de sus cultivos y la calidad de sus productos, por lo cual necesita de herramientas y aplicaciones que le permitan obtener, almacenar y procesar gran cantidad de información para medición y control de éstas variables externas; especialmente las relacionadas con las condiciones climáticas y las características del suelo; es por esto que las tecnologías del IoT se convierten en un soporte importante para el proceso de toma de decisiones de negocio.

En relación al cumplimiento del tercer objetivo planteado para este trabajo, se ha demostrado que tecnologías de la Industria 4.0 ó IoT como los sensores, el Big Data, el GPS, la nube, las redes inalámbricas, los dispositivos móviles, las cámaras, entre otras, pueden ayudar al agricultor a reducir la

incertidumbre en el comportamiento de variables externas y a hacer más eficiente la cadena de suministro del sector Agroalimentario, ya que permiten la toma de decisiones más acertadas y que contribuyen a mejorar el rendimiento del cultivo y la calidad de los productos, a la reducción de costes y a una mejor satisfacción del consumidor final.

Al optar por la llamada “agricultura de precisión” se logra además de lo mencionado anteriormente, alcanzar sostenibilidad en el negocio tanto a nivel económico como medioambiental, ya que impulsa al uso más eficiente y racional de los recursos; al permitir que el agricultor distribuya agua, pesticidas y fertilizantes de acuerdo con las condiciones y necesidades particulares de cada cultivo y no de manera generalizada como solía llevarse a cabo.

Con el IoT se logra también reducir los desperdicios en la producción agrícola ya que permite planificar mejor la producción y la distribución, al proporcionar datos más fiables en relación con el pronóstico de la demanda y con las condiciones de almacenamiento de los productos; lo cual ayuda a que el agricultor tome decisiones oportunas sobre qué cultivar, cuánto cultivar, cuándo cosechar y qué temperatura y humedad deben mantener sus productos en el proceso de distribución; con todo esto se logra una producción más eficiente y un mejor control de deterioros poscosecha, permitiendo alcanzar la calidad esperada por el cliente, garantizar la reducción de costes y la permanencia en el mercado.

Existen otras tecnologías del IoT como el Sistema de Radiofrecuencias (RFID) que soporta las decisiones de apoyo en el sector Agroalimentario y que se ha convertido en una parte vital en la gestión de la cadena de suministro, ya que permite la trazabilidad de los productos desde la cosecha hasta el consumidor final; garantizando la continuidad en el flujo de información, la comunicación entre los diferentes actores de la cadena, el monitoreo de la cadena de frío, el control de los desperdicios, la respuesta en menos tiempo

ante la detección de incidencias, la eficiencia logística y un mejor servicio al cliente.

Finalmente se puede concluir que, a partir de esta investigación, y como resultado del análisis del estado del arte, la incorporación del IoT en el sector Agroalimentario es una tendencia cada vez más fuerte y necesaria ya que ayuda a reducir pérdidas significativas en la agricultura, a resolver problemas de recopilación y monitorización de gran cantidad de datos, a reducir los impactos del cambio climático (que son cada vez más agresivos como resultado de las alteraciones en los ecosistemas, del desarrollo de la humanidad y de las afectaciones a la capa de ozono) y, por todo ello, a una mejor satisfacción del consumidor final.

## 10 BIBLIOGRAFIA

- Ahumada, O., Rene Villalobos, J., & Nicholas Mason, A. (2012). Tactical planning of the production and distribution of fresh agricultural products under uncertainty. *Agricultural Systems*, 112, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.06.002>
- Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2009). Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European Journal of Operational Research*, 196(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.014>
- Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011). Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. *International Journal of Production Economics*, 133(2), 677–687. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.05.015>
- Akkerman, R., & van Donk, D. P. (2008). Development and application of a decision support tool for reduction of product losses in the food-processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 16(3), 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.046>
- Ala-Harja, H., & Helo, P. (2014). Green supply chain decisions - Case-based performance analysis from the food industry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 69, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.05.015>
- Amorim, P., Curcio, E., Almada-Lobo, B., Barbosa-P?voa, A. P. F. D., & Grossmann, I. E. (2016). Supplier selection in the processed food industry under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 252(3), 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.005>
- Baghalian, A., Rezapour, S., & Zanjirani, R. (2013). Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. *European Journal of Operational Research*, 227(1), 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.12.017>
- Bhange, M., & Hingoliwala, H. A. (2015). Smart Farming: Pomegranate Disease Detection Using Image

- Processing. *Procedia - Procedia Computer Science*, 58, 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.022>
- Blanco, M., Ramos, F., Doorslaer, B. Van, Martínez, P., Fumagalli, D., Ceglar, A., & Fernández, F. J. (2017). Climate change impacts on EU agriculture: A regionalized perspective taking into account market-driven adjustments. *Agricultural Systems*, 156(April 2016), 52–66. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.05.013>
- Bo, Y., & Wang, H. (2011). The Application of Cloud Computing and The Internet of Things in Agriculture and Forestry. *International Joint Conference on Service Sciences*, 168–172. <https://doi.org/10.1109/IJCSS.2011.40>
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision : Key features , applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2013). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food Control*, 33(1), 32–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.004>
- Boza, A., Cortés, B., Cuenca, L., & Alarcón, F. (2014). Internet of Things. *Research Centre on Production Management and Engineering (CIGIP)*, 8.
- Chen, R. (2015). Autonomous tracing system for backward design in food supply chain. *Food Control*, 51, 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.004>
- Dalla, A., Orlando, F., Mancini, M., Guasconi, F., Motha, R., Qu, J., & Orlandini, S. (2015). Field Crops Research A simplified index for an early estimation of durum wheat yield in Tuscany ( Central Italy ). *Field Crops Research*, 170, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.018>
- Fengmei, Y. A. O., Pengcheng, Q. I. N., Jiahua, Z., Erda, L. I. N., & Vijendra, B. (2011). Uncertainties in assessing the effect of climate change on agriculture using model simulation and uncertainty processing methods. *Chinese Science Bulletin*, 56(8), 729–737. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4374-6>
- González, T., Ángel, M., Valdivia, C., & Patricio, J. (2011).

- Incertidumbre hídrica y prima de riesgo en la agricultura de la cuenca del Segura. *Atlantic Review of Economics*, 2, 1–17.
- Hsiao, H. I., van der Vorst, J. G. A. J., Kemp, R. G. M., & Omta, S. W. F. O. (2010). Developing a decision-making framework for levels of logistics outsourcing in food supply chain networks. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(5), 395–414. <https://doi.org/10.1108/09600031011052840>
- Liopa-tsakalidi, A., Tsolis, D., & Barouchas, P. (2013). Application of Mobile Technologies through an Integrated Management System for Agricultural Production. *Procedia Technology*, 8(Haicta), 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.023>
- Lütke Entrup, M., Müller, W. A., & Bihn, M. (2005). *Advanced planning in fresh food industries*. Germany.
- Ma, J., Zhou, X., Li, S., & Li, Z. (2011). Connecting Agriculture to the Internet of Things through Sensor Networks. <https://doi.org/10.1109/iThings/CPSCCom.2011.32>
- Manzini, R., & Accorsi, R. (2013). The new conceptual framework for food supply chain assessment. *Journal of Food Engineering*, 115(2), 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.026>
- Nguyen-the, C., Bardin, M., Berard, A., Berge, O., Brillard, J., Broussolle, V., ... Morris, C. E. (2016). Science of the Total Environment Agrifood systems and the microbial safety of fresh produce: Trade-offs in the wake of increased sustainability. *Science of the Total Environment*, The, 562, 751–759. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.241>
- Phillips, A. J., Newlands, N. K., Liang, S. H. L., & Ellert, B. H. (2014). Integrated sensing of soil moisture at the field-scale: Measuring , modeling and sharing for improved agricultural decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 107, 73–88. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.02.011>
- Rong, A., Akkerman, R., & Grunow, M. (2011). An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *International Journal of Production*

- Economics*, 131(1), 421–429.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.026>
- Roopaei, M., Rad, P., Choo, K. R., & Choo, R. (2017). Cloud of Things in Smart Agriculture: Intelligent Irrigation Monitoring by Thermal Imaging. *IEEE Xplore Digital Library*, 4(1), 10–15.
- Satyanarayana, G. V. (2013). Wireless Sensor Based Remote Monitoring System for Agriculture Using ZigBee and GPS, *2013(Cac2s)*, 110–114.
- Scognamiglio, V., Arduini, F., Palleschi, G., & Rea, G. (2014). Biosensing technology for sustainable food safety. *Trends in Analytical Chemistry*, 62, 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.07.007>
- Shukla, M., & Jharkharia, S. (2013). *Agri- fresh produce supply chain management: a state- of- the- art literature review. International Journal of Operations & Production Management* (Vol. 33).  
<https://doi.org/10.1108/01443571311295608>
- Tsolakis, N. K., Keramydas, C. A., Toka, A. K., Aidonis, D. A., & Iakovou, E. T. (2014). Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems Engineering*, 120, 47–64.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.10.014>
- Van Wezel, W., Van Donk, D. P., & Gaalman, G. (2006). The planning flexibility bottleneck in food processing industries. *Journal of Operations Management*, 24(3), 287–300. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2004.11.001>
- Verdouw, C. N., Beulens, A. J. M., Trienekens, J. H., & Wolfert, J. (2010). Process modelling in demand-driven supply chains: A reference model for the fruit industry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73(2), 174–187. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.05.005>
- Vorst, J. Van Der. (2000). *Generating , modelling and evaluating*. Library, Data Royal.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>
- Xiaolin, L., Linnan, Y., Lin, P., Wengfeng, L., & Limin, Z.

- (2012). Procedia Engineering County Soil Fertility Information Management System Based on Embedded GIS, 29, 2388–2392. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.320>
- Yanes-Estévez, V., Oreja-Rodríguez, J. ., & García-Pérez, A. . (2010). Perceived environmental uncertainty in the agrifood supply chain. *British Food Journal*, 112(7), 688–709. <https://doi.org/10.1108/00070701011058235>
- Yerpude, S., & Singhal, T. K. (2017). Impact of Internet of Things ( IoT ) Data on Demand Forecasting. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(April), 5. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i15/111794>