



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

# INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS DE GESTIÓN Y SENSORES NO DESTRUCTIVOS PARA LA MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

(INTEGRATION OF MANAGEMENT METHODOLOGIES AND NON-DESTRUCTIVE SENSORS FOR  
THE IMPROVEMENT OF PRODUCTIVE PROCESSES IN THE AGRO-FOOD INDUSTRY)

ANA ALICIA BOLÍVAR LARA

Programa de Doctorado:

Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del  
Desarrollo Rural Sostenible

Directoras:

Dra. María José De la Haba De la Cerda.

Dra. Manuela Hernández García.

Córdoba, 20 de diciembre de 2018.

TITULO: *INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS DE GESTIÓN Y SENSORES  
NO DESTRUCTIVOS PARA LA MEJORA DE PROCESOS  
PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA*

AUTOR: *Ana Alicia Bolívar Lara*

---

© Edita: UCOPress. 2019  
Campus de Rabanales  
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A  
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>  
[ucopress@uco.es](mailto:ucopress@uco.es)

---

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

DEPARTAMENTO DE BROMATOLOGÍA Y TECNOLOGÍA DE LOS  
ALIMENTOS

INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS DE GESTIÓN Y SENSORES  
NO DESTRUCTIVOS PARA LA MEJORA DE PROCESOS  
PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

TESIS DOCTORAL

ANA ALICIA BOLÍVAR LARA

Directoras:

Dra. María José De la Haba De la Cerda

Dra. Manuela Hernández García

2018



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

DEPARTAMENTO DE BROMATOLOGÍA Y TECNOLOGÍA DE LOS  
ALIMENTOS

INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS DE GESTIÓN Y SENSORES  
NO DESTRUCTIVOS PARA LA MEJORA DE PROCESOS  
PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

TESIS DOCTORAL

Memoria presentada por

ANA ALICIA BOLÍVAR LARA

Para optar al título de Doctora por la Universidad de Córdoba

Vº Bº DIRECTORAS:

Dra. María José De la Haba De la  
Cerda

Dra. Manuela Hernández  
García

2018



La Dra. María José De la Haba De la Cerda, Profesora Titular de Universidad del Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos de la ETSIAM de la Universidad de Córdoba y la Dra. Manuela Hernández García,

INFORMAN: que la Tesis Doctoral titulada “INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS DE GESTIÓN Y SENSORES NO DESTRUCTIVOS PARA LA MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA”, presentada por D<sup>a</sup> Ana Alicia Bolívar Lara, ha sido realizada bajo nuestra dirección y, a nuestro parecer, reúne las condiciones académicas exigidas por la legislación vigente para aspirar al grado de Doctora por la Universidad de Córdoba.

Y para que quede constancia, firmamos el presente informe en Córdoba a 20 de diciembre de 2018.

Dra. María José De la Haba De la  
Cerda

Dra. Manuela Hernández  
García







**TÍTULO DE LA TESIS: Integración de metodologías de gestión y sensores no destructivos para la mejora de procesos productivos en la industria agroalimentaria.**

**DOCTORANDA: Ana Alicia Bolívar Lara**

**INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS**

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

La presente Tesis Doctoral supone un importante avance en las metodologías de gestión de procesos en las industrias agroalimentarias basados en la mejora continua y en la producción ajustada mediante la implementación de la metodología *Lean manufacturing*. Los procesos para garantizar la calidad y seguridad de los alimentos son vitales para la industria agroalimentaria, y la búsqueda de eficiencia implica principalmente el desarrollo de procedimientos que identifiquen los fallos en la cadena de producción ya que, en la mayoría de los casos, los fallos son la causa de la alteración de la calidad y la seguridad del producto final.

La Tesis realiza también una importante aportación al conocimiento relativa a la posibilidad de combinar la metodología *lean* con el uso de otros sensores, como la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS), de forma que sirva ésta como soporte tecnológico para facilitar la toma de decisiones en tiempo real en los procesos de fabricación de las industrias agroalimentarias.

Los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral han dado lugar a una publicación en una revista indexada, a la preparación de otro artículo para su publicación y a un póster internacional. A continuación, se detallan las referencias de dichos trabajos:

Bolívar Lara, A.A., Hernández, M., Serrano, A., De la Haba, M.J. 2018. Contribution of Lean Manufacturing and NIRS technology to the operation efficiency and quality services in an Iberian pig slaughterhouse. *Revista Espacios*, 39, 36-50.

Bolívar Lara, A.A., Jurado-Martos, F., García-Valverde R., Hernández-García M., Serrano A. 2017. Oportunidades y herramientas para conocer la calidad sensorial del jamón Ibérico curado en expedición. Séptimo Congreso Mundial del Jamón Curado.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 20 de noviembre de 2018.

Firma de las directoras

Fdo.: María José de la Haba de la Cerda

Fdo.: Manuel Hernández García



# AGRADECIMIENTOS

A mi Directora, María José de la Haba de la Cerda, por aceptar ser mi guía en este camino de la Tesis Doctoral y por compartir conmigo estos años de aprendizaje mutuo.

A mi directora Manuela Hernández, por aportarme todo su conocimiento, valor y apoyo posible, para realización de la Tesis

A Cicap, por poner todos sus recursos a la disposición de la innovación y de la transferencia del conocimiento en el entorno agroalimentario.

A la Cooperativa ganadera del Valle de los Pedroches, Covap, por ser una empresa abierta a la innovación y permitir sus instalaciones y equipos de trabajo para la ejecución de ensayos de esta Tesis.

A la Universidad de Córdoba, por apoyar la diversidad e impulsar la profundización del conocimiento en la amplitud de los campos de la ciencia.

Al Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3), en cooperación con el Ministerio de Educación Cultura y Deporte / Ministerio de Economía y Competitividad y al Banco Santander, por destinar fondos para el desarrollo de doctores en el ámbito empresarial, a través del programa Doctores en empresas.



# DEDICATORIA

A Dios, por iluminarme el camino, por fortalecerme ante la dificultad y ser mi  
compañero fiel.

A mi Familia, por creer y confiar en mi en todo momento, por ser el pie más  
firme de este árbol (Mirna, Pedro y Miguel Ángel).

A mis dos Abuelas (Arminda y Sila), por ser mi modelo de mujer valiente, íntegra,  
emprendedora y perseverante.

A mi Alma mater, la Universidad Central de Venezuela, por haberme brindado las  
herramientas profesionales para enfrentar el mundo.

A mi Ángel, el profesor y punto de inflexión en mi carrera profesional, por ser un  
catedrático de la vida.

A mis compañeros y amigos de Cicap, por ser mi familia en España.



## Índice general

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. ESTADO ACTUAL Y RETOS DE LA GESTIÓN EMPRESARIAL.....</b>	<b>7</b>
3.1.1. LA GESTIÓN DE EMPRESAS.....	7
3.1.2. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA	10
<b>3.2. <i>LEAN MANAGEMENT</i> .....</b>	<b>13</b>
3.2.1. DEFINICIÓN.....	13
3.2.2. HERRAMIENTAS <i>LEAN</i> .....	15
3.2.3. CONCEPTO HOLÍSTICO .....	21
3.2.4. AVANCES ACADÉMICOS SOBRE <i>LEAN</i> EN ESPAÑA .....	22
3.2.5. APLICACIONES DE LA METODOLOGÍA <i>LEAN MANUFACTURING</i> A EMPRESAS AGROALIMENTARIAS .....	26
<b>3.3. PROPIEDADES COMBINATORIAS DE <i>LEAN MANAGEMENT</i> .....</b>	<b>32</b>

3.3.1 AVANCES ACADÉMICOS SOBRE LA COMBINACIÓN DEL USO DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS <i>LEAN</i> .....	34
3.3.2. ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA FRENTE A LOS FACTORES <i>LEAN</i> .....	40
<b>CAPÍTULO 4. ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA <i>LEAN MANAGEMENT</i> EN EMPRESAS AGROALIMENTARIAS DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA .....</b>	<b>51</b>
4.1. INTRODUCCIÓN.....	51
4.2. METODOLOGÍA.....	53
4.2.1. REALIZACIÓN DE LA ENCUESTA.....	57
4.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	57
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.3.1. TASA DE PARTICIPACIÓN .....	58
4.3.2. GRADO DE UTILIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS <i>LEAN</i> EN EMPRESAS AGROALIMENTARIAS ANDALUZAS.....	60
4.3.3. BENEFICIOS PERCIBIDOS DE LAS PRÁCTICAS <i>LEAN</i> EN EMPRESAS AGROALIMENTARIAS .....	68
4.4. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	71
<b>CAPÍTULO 5. COMBINACIÓN DE LA METODOLOGÍA <i>LEAN</i> CON OTRAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA MEJORA CONTINUA DE PROCESOS .....</b>	<b>73</b>
5.1. APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA <i>LEAN</i> EN UN MATADERO DE VACUNO.....	73
5.1.1. INTRODUCCIÓN.....	73
5.1.2. METODOLOGÍA.....	75
5.1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	81



<b>5.2. CONTRIBUCIONES DEL <i>LEAN MANUFACTURING</i> Y LA TECNOLOGÍA NIRS A LA EFICIENCIA DE LAS OPERACIONES Y LA CALIDAD DEL SERVICIO EN UN MATADERO DE CERDO IBÉRICO .....</b>	<b>99</b>
5.2.1. INTRODUCCIÓN .....	99
5.2.2. METODOLOGÍA .....	103
5.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	107
<b>5.3. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>125</b>
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>127</b>
<b>CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>145</b>



## Índice de tablas

Tabla 3.1. Características de las industrias agroalimentarias andaluzas .....	12
Tabla 3.2. Artículos científicos publicados en revistas de impacto, asociados al sistema de gestión Lean en España .....	23
Tabla 3.3. Avances académicos de aplicaciones Lean con nuevas tecnologías.....	35
Tabla 4.1. Resultados del análisis descriptivo: Grado de uso de las practicas lean .....	61
Tabla 4.2. Análisis de varianza para las variables tamaño y tipo de empresa.....	67
Tabla 4.3. Resultados sobre los beneficios y barreras informados .....	68
Tabla 4.4. Resultados del análisis de varianza de los beneficios y barreras del uso de lean en función del tamaño de la empresa .....	70
Tabla 5.1. Registro de reclamaciones de clientes .....	82
Tabla 5.2. Asignación de parámetros y método de determinación de los mismos .....	87
Tabla 5.3. Evolución del pH y la humedad superficial (% HS) de las muestras de riñonada y redondo almacenadas en las dos cámaras estudiadas.....	89
Tabla 5.4. Evolución de la temperatura por pieza en las dos cámaras estudiadas .....	90

Tabla 5.5. Valores de los parámetros de color en el ensayo de oreo y humidificación .....	91
Tabla 5.6. Análisis estadístico de los resultados obtenidos en la prueba de simulación.....	93
Tabla 5.7. Evolución de los valores del pH y humedad superficial (HS) de las dos piezas comerciales y en las dos cámaras ensayadas.....	94
Tabla 5.8. Evolución de la temperatura en el redondo en las dos cámaras ensayadas .....	95
Tabla 5.9. Comportamiento del color en la prueba de oreo y humidificación en las dos cámaras del estudiadas.....	96
Tabla 5.10. Análisis ANOVA de los resultados obtenidos en la prueba de confirmación (T72) .....	98
Tabla 5.11. Contribución de la tecnología a reducir el desperdicio .....	123

## Índice de figuras

Figura 5.1. Diagrama de Ishikawa para el defecto resecaimiento de las canales en matadero.....	83
Figura 5.2. Diagrama de Pareto para para análisis del defecto resecaimiento de las canales en matadero.....	85
Figura 5.3. Comportamiento del pH por pieza.....	90
Figura 5.4. Comportamiento de la humedad superficial en las canales.....	92
Figura 5.5. Comportamiento del pH por pieza en ensayo de verificación.....	95
Figura 5.6. Comportamiento de la humedad superficial en las canales en el ensayo de confirmación .....	97
Figura 5.7. Recogida de espectros NIR en muestras de grasa intacta .....	106
Figura 5.8. Reducción de costes y desperdicio mientras se pone el foco en la calidad .....	107
Figura 5.9. Flujo del proceso actual. (a) VSM estado actual, (b) variación de tiempo en el sacrificio, (c) histograma de frecuencia lead time CG. *Tiempo de ciclo (C/T), Tiempo de valor añadido (VA/T), Tiempo de valor No añadido (NVA/T) .....	110

Figura 5.10. Mejora del lead time (cambio de la técnica de análisis de CG a NIRS en grasa fundida). (a) VSM estado futuro, (b) histograma de frecuencia lead time NIRs lote. \*C/T= Tiempo de ciclo; VA= Valor añadido; NVA/T= Valor No añadido..... 115

Figura 5.11. Distribución de las muestras dentro del lote ..... 117

Figura 5.12. Mejora del lead time (posible cambio al análisis on-line). \*C/T= Tiempo de ciclo; VA= Valor añadido; NVA/T= Valor No añadido..... 120

## Listado de abreviaturas

**CAD.** Diseño computarizado

**CAM.** Fabricación computarizada

**ETSIAM.** Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes

**FIAB.** Federación de Industrias de Alimentación y Bebida

**GC.** Cromatografía de gases

**JIT.** Just in time.

**NIRS.** Espectroscopía de Reflectancia de Infrarrojo Cercano

**RFID.** Identificación por Radiofrecuencia

**PYME.** Pequeña y mediana empresa

**SMED.** Single Minute Exchange of Die

**TPM.** Mantenimiento Productivo Total

**TQM.** Total Quality Management

**VSM.** Mapa de Flujo de Valor.





## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

El mundo globalizado en el que se desenvuelven los mercados hoy día ha provocado profundos cambios, específicamente a nivel de la industria agroalimentaria. Como resultado de la adaptación de las empresas al nuevo concepto, se plantea con frecuencia una revisión de sus esquemas productivos en busca de aquel que pueda hacerlas cada vez más eficientes en el entorno global, mediante cambios tecnológicos.

Europa se ha visto inmersa en cambios en el sector agroalimentario en temas de innovación a nivel de productos y procesos, cambios organizacionales y de modelos de negocio (Cruz, 2011), que en función de los retos a los que se enfrenta el sector agroalimentario, se hace necesaria la innovación con elementos técnicos de manejo y gestión. Para ello, algunos métodos y tecnologías son especialmente adecuados, y los resultados de su aplicación pueden ser potenciados cuando se consigue la sinergia entre éstos.

Entre los mencionados retos de la industria alimentaria se pueden incluir la reducción de costes, la eficiencia en el uso de recursos (económicos, naturales, humano), las exigencias en los tiempos de desarrollo de productos y procesos productivos, la optimización de las relaciones con proveedores, y principalmente la producción de alimentos seguros mediante la satisfacción de las crecientes

exigencias de calidad y trazabilidad de los productos por parte de los consumidores.

El *Lean Management* se presenta como una manera de aumentar la competitividad de las industrias (Arlbjørn y Freytag, 2013), proponiendo un método de gestión que se enfoca en reducir al mínimo el consumo de recursos que no agregan valor al producto, con la finalidad de optimizar sus procesos, la calidad de sus producciones y atender las demandas reales del consumidor (Abdulmalek et al., 2006). En definitiva, *Lean Management* tiene como objetivo proporcionar bienes y servicios que se adapten mejor a las necesidades de los clientes a mayor velocidad y menor coste, manteniendo la calidad, es decir, logrando más con menos. De esta manera, los productores pueden optimizar tanto sus procesos como la calidad del producto (Abdulmalek, et al., 2006; Chen et al., 2013, Jones y Womack, 2013), al mismo tiempo que aumentan la flexibilidad de la producción (Buehlmann y Fricke, 2016).

Un estudio realizado a empresas en Europa sostiene que la práctica *Lean* en la producción de alimentos, se encuentra en sus etapas primarias y es poco usado a pesar de que los resultados obtenidos en las industrias que lo han implementado muestran una mejoría en el desempeño operacional, especialmente en la productividad global tras su aplicación (Dora et al., 2013). Una manera de facilitar la incorporación de estos métodos de gestión es mediante su uso con sistemas de apoyo a la decisión (DSS), brindando respuestas a la necesidad de optimizar la eficiencia en la toma de decisiones, ya que permite incorporar tecnologías en su desarrollo (Setijono et al., 2010).

El desarrollo de optimizaciones de gestión exige importantes cantidades de información recogida en puntos estratégicos del proceso, que bien puede ser documental o mediante el uso de sensores, permitiendo alimentar dichos sistemas de una forma segura y objetiva, que garantice la toma de decisiones óptimas. Un ámbito de gran importancia es la utilización de los sensores no destructivos en el sector agroalimentario, como los basados en la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (Tecnología NIRS), la cual, dados sus atributos de rapidez, bajo coste,

multiproducto y multiatributo, etc., unido a su capacidad para ser situada en diferentes puntos de la cadena de producción y comercialización, sin necesidad de preparación ni destrucción de muestra, la sitúan como una candidata idónea para su aplicación a problemas ligados a la autenticación, control de calidad y trazabilidad de productos agroalimentarios (Garrido, 2006). Mediante el uso de esta tecnología es posible efectuar controles de calidad de productos y procesos “in situ”, desarrollados y evaluados para la industria cárnica del cerdo Ibérico, incluyendo la predicción de parámetros químicos, físicos, tecnológicos y sensoriales en productos loncheados y/o envasados (Gaitán et al., 2008; Zamora, 2013), así como los desarrollos realizados en metodología con sensores de laboratorio y “on-line”, tanto de infrarrojo cercano como de imagen hiperespectral (De la Haba et al., 2009, Garrido-Novell et al., 2013).

Parece evidente, en consecuencia, que los distintos avances tecnológicos de los que se dispone en la actualidad resultan de gran importancia al momento de evaluar la eficiencia global de los procesos, que, de acuerdo con la filosofía *Lean Manufacturing*, involucra la calidad, el desempeño del proceso y la disponibilidad para responder a las demandas de los clientes. Conforme se incrementa la capacidad de tomar decisiones en periodos de tiempo más reducidos, y con alta posibilidad de acierto por su fundamento en mediciones objetivas, mejor será el control sobre el proceso y las condiciones de los productos se ajustarán de una forma más precisa a las necesidades de los consumidores.

Este trabajo proporciona una visión matizada de las relaciones entre las tecnologías de fabricación, las prácticas *Lean*, y múltiples facetas del rendimiento de la manufactura. Con esta base, la presente investigación doctoral pretende contribuir al conocimiento mediante la investigación del efecto sinérgico presente en la incorporación de tecnología en la implantación de la metodología *Lean manufacturing* en la industria agroalimentaria. La investigación se ha desarrollado en el marco y financiación del programa “Doctores en empresas” del Campus de excelencia internacional agroalimentario (Ceia3), el Ministerio de Educación Cultura y Deporte / Ministerio de Economía y Competitividad y el Banco Santander, bajo el seguimiento del

## Capítulo 1. Introducción

Grupo de investigación al que pertenece la doctoranda, durante el periodo 2014-2018, CICAP (Fundación Centro Tecnológico y de Calidad Agroalimentaria del Valle de los Pedroches) y de la empresa acogedora, planteándose la presente Tesis Doctoral con los objetivos que se enumeran en el Capítulo siguiente.

## **CAPÍTULO 2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Mejorar la calidad y trazabilidad en la industria agroalimentaria, optimizando los procesos a través de la sinergia entre la gestión de procesos por mejora continua y la utilización de sensores no destructivos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Desarrollar una metodología para la caracterización tecnológica, funcional y organizacional de industrias agroalimentarias.
2. Proponer mecanismos de optimización de procesos productivos sustentados en el uso del “Lean Management” y su complementariedad con la utilización de sensores no destructivos.
3. Contrastar los beneficios de la mejora de eficiencia de los procesos en la calidad y trazabilidad en un conjunto de industrias agroalimentarias.



## **CAPÍTULO 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. ESTADO ACTUAL Y RETOS DE LA GESTIÓN EMPRESARIAL**

#### **3.1.1. LA GESTIÓN DE EMPRESAS**

La producción sostenible requiere mantener la eficiencia y eficacia de los recursos. Para lograr estos objetivos, factores como la calidad, la planificación de la producción y el mantenimiento deben ser tenidos en cuenta y no sólo de forma aislada sino también considerando las relaciones mutuas entre ellos, las cuales no deben ser subestimadas mientras se configura y gestiona el sistema de fabricación en su conjunto (Lanza et al., 2014).

La calidad del producto y servicio puede ser definida como todas las características del producto y servicio provenientes de Mercadeo, Ingeniería, Manufactura y Mantenimiento que estén relacionadas directamente con las necesidades del cliente (Feigenbaum, 1994). En este sentido, resulta de suma importancia mantener en constante estudio los procesos, ya que esto posibilita la evaluación y mejora de los mismos respecto a lo que los consumidores demandan.

Juran, un gurú en gestión de la calidad enfatizó que las necesidades de los clientes deben ser la fuerza motriz de las especificaciones de calidad del producto,

entendiendo por calidad el rendimiento del producto que satisface las necesidades del cliente y está libre de deficiencias o errores (Juran, 1986). Asimismo, propuso tres procesos gerenciales: planificación de calidad, control de calidad y la mejora de la calidad, que son necesarios para gestionar la calidad de los productos.

La adopción y la implementación de técnicas de gestión vinculan la teoría de la gestión, la consultoría de gestión y la actividad de formación con las prácticas de gestión emergentes. La gestión de la calidad se ha desarrollado significativamente en las últimas décadas y se ha convertido en un tema que afecta a toda la empresa (Johannsen, 2011). Por otro lado, los enfoques múltiples en la gestión de la calidad se han introducido recientemente, como *Six Sigma*, *Lean Management* o *Total Quality Management* (TQM), los cuales difieren en su filosofía, principios y objetivos subyacentes. Así, por ejemplo, mientras que *Six Sigma* tiene un fuerte enfoque en el cliente, *Lean Management* está más ocupado por la velocidad del proceso y la eliminación de desperdicios (Andersson et al., 2006). Diferentes técnicas de gestión se han denominado tendencias o modas, ya que han sido intervenciones transitorias, que con cada nueva idea o método de gestión que surge, se reemplaza a la anterior.

La variedad de métodos de gestión es cada vez mayor y esto genera desafíos para los gerentes (Johannsen, 2011). A menudo, no saben qué métodos son los más adecuados para resolver un problema específico. La razón se puede encontrar en la falta de fundamento teórico de la disciplina. Al mismo tiempo, los métodos de gestión pueden parecer modernos en ciertos momentos, lo que lleva a una adopción desconsiderada de métodos específicos. Como resultado, las empresas con frecuencia utilizan más de un solo método para la gestión de sus procesos.

El uso paralelo de múltiples métodos también se describe en estudios empíricos (Kumar y Antony, 2008; Johannsen, 2011). Sin embargo, los gerentes de calidad están sobrecargados al coordinar estos diferentes enfoques y, debido a la falta de recursos,



los empleados no tienen tiempo para dedicarse a la implementación o aplicación de más de un enfoque.

En el caso concreto de España, analizar el grado de utilización de los distintos sistemas de gestión, modelos y herramientas dentro de las organizaciones españolas y, sobre todo, la relación entre su uso y los resultados en cada organización ha sido un tema de interés para la Asociación Española de la Calidad (AEC, 2013), quienes en un estudio de la Institución, plantearon conocer los sistemas, herramientas y modelos de gestión más populares y las tendencias de uso en las empresas españolas, así como la posibilidad de identificar las principales motivaciones para implantar estos sistemas, así como las dificultades que han encontrado las organizaciones en el camino de la implantación. El estudio consistió en la aplicación de una encuesta a empresas españolas de diversos sectores y de diferente tamaño, dando a conocer las estrategias que usan las empresas y el grado de uso de las mismas, proporcionando resultados cuantitativos y cualitativos de la estrategia seleccionada. De acuerdo con los resultados de dicho estudio, en España el sistema de gestión más utilizado es el de calidad implantado según la norma UNE-EN ISO 9001, que destaca por ser un sistema maduro y del que las entidades disponen desde hace más de 5 años, seguido de los sistemas gestión medio ambiental ISO 14001 y la OHSAS 18001, por la certificación 166002, relacionada con la gestión de sistemas de I+D+i y, finalmente, las certificaciones de BRC (British Retail Consortium) relacionadas con la seguridad alimentaria. En muchos de los casos la adopción de un modelo de gestión es una acción de obligado cumplimiento, que se exige bien por entes regulatorios o por especificaciones de clientes.

Las incorporaciones de sistemas más recientes se producen en el ámbito de la innovación, ejecutadas mayoritariamente por las empresas con un tamaño comprendido entre 250 a 1000 trabajadores (grandes empresas). Como parte del estudio también se asociaron algunas herramientas utilizadas con la finalidad de mejorar, además de los sistemas o modelos de gestión, siendo destacable la utilización de la gestión por competencias (45%) y las metodologías de gestión de proyectos (como

PM-BOK= 33%), seguido de los proyectos de *coaching* (30%), y finalmente proyectos de *Lean management* (27%) y proyectos de *Six sigma* (20%). La tendencia se repite tanto en Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) como en organizaciones de mayor tamaño, aunque en éstas últimas destaca un incremento en el uso de herramientas como *Lean management*, o proyectos de *coaching*, representando en éstas un porcentaje de uso del 30 y 38% respectivamente.

### **3.1.2. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA**

El sector de la alimentación se basa en un grupo muy heterogéneo de productos con diferente vida útil, plazos de fabricación variados y oscilaciones en los volúmenes y frecuencia de la demanda de los clientes. La naturaleza heterogénea de esta industria en su conjunto, la enorme variación en la calidad de las materias primas y su oferta altamente impredecible, así como las volátiles demandas de los clientes hacen que el sector manufacturero sea muy variable y peculiar (Noorwali et al., 2013; Dora et al., 2014; Borges et al., 2015).

En función de que el éxito de *Lean manufacturing* y otras iniciativas son altamente dependientes del ámbito en el que se apliquen, resulta importante comprender el contexto que brinda el entorno en el que se introduce el *Lean manufacturing*, ya que el mismo tiene origen en el éxito demostrado en eficiencia y productividad en la industria automotriz de comportamiento discreto (Abdulmalek et al., 2006; Dora et al., 2014), no extrapolable al perfil de la industria de alimentos.

La industria alimentaria es una pieza clave de la economía española. Durante la crisis económica, este sector se ha mantenido fuerte, creciendo e impulsando sólidamente la economía. Actualmente es el primer sector industrial en España en términos de ingresos, el cuarto en Europa por volumen (después de Alemania, Francia e Italia) y el que tiene el mayor crecimiento dentro de la zona euro (CCOO Industria, 2017).

Es importante señalar que en el sector industrial agroalimentario español el 96,6% de las industrias de Alimentación y Bebidas, son pequeñas, es decir, en estas empresas trabajan menos de 50 trabajadores, mientras el 2,7% son de tamaño mediano, dejando solo un 0,7% para el grupo de grandes empresas (MAPA, 2017). Esto deja una evidencia clara de la atomización del sector, y de los escasos recursos con los que cuentan las empresas del sector para hacer frente a procesos de mejora.

En 2017, las 24.684 empresas que componían el sector industrial alimentario español cerraron el año con ventas netas de 93.000 Mill €, equivalente al 3% del Producto Interior Bruto (PIB) español. Además, el volumen de negocio combinado de todos los actores del sector alimentario, esto es, la industria agroalimentaria, las bebidas y la distribución (incluidos hoteles y restaurantes), representó más del 20% del PIB del país. Dado que la mayoría de las fábricas están situadas cerca de la oferta de materias primas, la industria actúa como motor del desarrollo rural y es esencial para generar empleo en las zonas rurales (FIAB, 2017).

Con base en la literatura existente (Van Goubergen et al., 2011; Van Wezel et al., 2006, Dora et al., 2012) y las observaciones realizadas por la propia autora de esta Tesis Doctoral, la Tabla 3.1 presenta un resumen de una serie de aspectos que caracterizan a las industrias agroalimentarias de la Comunidad Autónoma de Andalucía, con respecto al producto, el proceso y las instalaciones.

**Tabla 3.1.** Características de las industrias agroalimentarias andaluzas

<b>Componente</b>	<b>Características de la industria alimentaria andaluza</b>
<b>Producto</b>	Altamente perecedero
	Variabilidad en la calidad de las materias primas
	Variabilidad en el uso por la industria de volúmenes y / o pesos (en contraste con las industrias discretas)
	Estacionalidad de las materias primas
<b>Proceso de producción</b>	Uso de operaciones manuales y/o mínimamente automáticas
	Alta variación de composición, recetas, productos y técnicas de elaboración
	Rendimiento variable y duración del proceso
	Corto tiempo de procesamiento para lotes
	Métodos tradicionales de elaboración
<b>Instalaciones</b>	Largos tiempos de cambio de formato entre diferentes tipos de producto
	Las plantas son de procesamiento por lotes y tienen de dos a seis líneas de producción
	El procesamiento y el envasado se separan debido al aseguramiento de la calidad de los alimentos
	El procesamiento en los equipos tiene una secuencia dependiente del momento de limpieza
	Plantas pequeñas y de una sola sede con 2 a 50 empleados

Fuente: Elaboración propia a partir de Dora et al. (2012).

Las características son en general, muy similares; sin embargo, la particularidad del reducido tamaño, la estacionalidad del funcionamiento, así como las limitaciones tecnológicas son las grandes barreras a la mejora de estas empresas identificadas por los Directores Ejecutivos (CEO), añadiendo, con respecto a lo descrito por la literatura referente al sector alimentario, la estacionalidad de las materias primas, los métodos

tradicionales de elaboración de gran parte de los productos y el tamaño de la empresa, que típicamente son pequeñas y medianas empresas.

## **3.2. LEAN MANAGEMENT**

### **3.2.1. DEFINICIÓN**

El concepto de *Lean* se aplicó por primera vez en la literatura académica en 1988 (Krafcik, 1988) y fue desarrollado a través de un programa internacional de vehículos motorizados, dirigido por investigadores de la Massachusetts Institute of Technology (MIT) a finales de la década de 1980 (Holweg, 2007, Arlbjorn et al., 2011). El programa se propuso investigar el papel que el automóvil tomaría en el futuro, bajo la idea de crear una red internacional de profesores en diversas universidades, obteniendo, como una de las principales conclusiones de este proyecto de investigación, que Toyota era mucho más productiva que otras industrias ya que implantaron un sistema destinado a eliminar los desperdicios a todos los niveles. Posteriormente, en 2007, Shah y Ward establecieron que *Lean* podría ser percibido como una mezcla de *just in time* (JIT, elementos, técnicas) y herramientas de gestión de la calidad total (TQM).

La bibliografía existente sobre *Lean* parece carecer de definiciones concretas sobre lo que realmente constituye esta metodología (Shah y Ward, 2007; Hallgren y Olhager, 2009; Pettersen, 2009). Así, el concepto de *Lean* evoluciona constantemente, ya que las definiciones son muy cambiantes, debido a sus dos niveles de uso, tanto operacional (usando herramientas de taller) como estratégico (Hines et al., 2004; Pettersen, 2009).

Otros autores, como Abdulmalek et al. (2006) y Womack y Jones (2012) sí realizan una definición de *Lean management*, describiéndolo como un método de gestión por mejora continua que tiene sus orígenes en la industria automotriz, y que,

una vez conocido el éxito en dicha industria, se ha tratado de identificar los factores de éxito para poder trasladar la metodología a otros sectores de la economía. Su enfoque se basa en reducir al mínimo el consumo de recursos que no agregan valor al producto, con la finalidad de optimizar sus procesos, la calidad de sus producciones y atender las demandas reales del consumidor (Abdulmalek et al., 2006).

Womack et al. (1990) añaden que la producción *Lean* utiliza menos recursos en comparación con la producción en masa, considerando como recursos el esfuerzo humano, la fabricación, la inversión en herramientas y el tiempo. Esto puede deberse a que, la metodología *Lean* persigue la eliminación de 7 desperdicios que se han clasificado como (Ballesteros, 2008; Womack y Jones, 2012):

1. Sobreproducción, o producción por encima de la demanda.
2. Tiempos de espera, bien sea para procesar, uso, trabajo, u otro.
3. Transporte de productos y/o materiales.
4. Sobreprocesamiento, o procesamiento excesivo.
5. Inventario.
6. Movimiento de material innecesario.
7. Piezas/productos defectuosos.

La metodología *Lean* propone el uso de una serie de herramientas para la eliminación de todas las actividades que puedan estar asociadas con la generación de desperdicios. Entre las más utilizadas en el entorno *Lean* se encuentran las 5S (organización del lugar de trabajo), trabajo estandarizado, JIT (*just in time*), controles visuales, células de trabajo, *Takt time*, reducción del tamaño de lote, *Kaizen* (mejora continua), Mantenimiento Productivo Total (TPM), Producción *Pull*, SMED (tiempos de cambios en menos de 10 minutos), entre otros.

### 3.2.2. HERRAMIENTAS *LEAN*

#### 3.2.2.1. Organización del lugar de trabajo

La organización por 5S es una herramienta utilizada para crear un entorno de trabajo adecuado para el control visual y la producción *Lean*, que evita desperdicios de tiempo en buscar, recoger y preparar los elementos necesarios para producir. La aportación de las 5S es directa sobre la mejora de la eficiencia, ya que este programa supone pasar por las fases de organización, orden, limpieza, estandarización y disciplina, que es un factor de éxito para para los sistemas que aplican el JIT (*Just in time*) (Abdulmalek et al. 2006, Ballesteros, 2008). A continuación, se describen cada una de las fases de la implantación:

- Clasificar y organizar (*Seiri*): consiste en retirar del sitio de trabajo los elementos que no son necesarios para ejecutar las actividades ya sean de producción, de servicios o administrativas. Estos elementos se almacenan temporalmente en un sitio especial mientras se confirma si son o no necesarios. Si son innecesarios se subdividen en dos clases, los que se utilizarán en otra operación y los que definitivamente se deben descartar. Esta es una forma práctica de liberar espacios desechando elementos como herramientas rotas, material obsoleto, excesos de materiales, archivos no vigentes, información innecesaria o duplicada, etc.
- Ordenar (*Seiton*): se refiere a la organización de los elementos necesarios de tal manera que se puedan encontrar fácilmente. Por ejemplo, en mantenimiento, ordenar está asociado con la mejora de la visualización de los elementos de los equipos e instalaciones industriales. Aquí, cabe la expresión “cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa”. Se citan las zonas de trabajo bien delimitadas y marcadas, tablas con siluetas, estantería modular o gabinetes previamente identificados para la ubicación de los elementos. Desafortunadamente, en el sistema tradicional estos costos no se contabilizan y muchos menos, se controlan.

- Limpieza (*Seiso*): Es sinónimo de aseo y por lo tanto consiste en eliminar el polvo y la suciedad de todos los elementos de la organización. En mantenimiento productivo total, se refiere a la inspección de los equipos durante el proceso de limpieza que facilita la identificación de los problemas de escape, fallos o defectos de cualquier tipo.
- Estandarizar (*Seiketsu*): se logra cuando se trabajan continuamente la clasificación, la organización y limpieza antes descritos. Son los trabajadores quienes adelantan planes y programas y diseñan mecanismos que les permitan beneficiarse a sí mismos. Existen varias estrategias para generar y consolidar esta cultura. Una de ellas es la localización de fotografías del área de trabajo en óptimas condiciones para que sean observadas por todos los empleados y es una forma de recordarles que ese es el estado en el que debería permanecer. Otra es la implementación de ciertas normas donde se especifica qué debe hacer cada empleado con relación a su sitio de trabajo.
- Disciplina (*Shitsuke*): no es otra cosa que respetar y cumplir con los procedimientos y normas establecidos por la organización para su normal desempeño. Si se implanta una sana disciplina laboral se podrá mantener un equilibrado clima organizacional, para lograr un ambiente de trabajo de mucha colaboración y respeto entre todos los empleados. Prácticamente, la disciplina es el canal entre las “5 eses” y la mejora continua. Lleva implícito un control periódico, visitas sorpresa, autocontrol de los empleados, respeto por sí mismo y por los demás y, en definitiva, por mejorar la calidad de vida laboral.

### 3.2.2.2. Trabajo estandarizado

El trabajo estandarizado significa fijar las pautas de acuerdo con un método. La estandarización debe alcanzar todos los aspectos que determinan cómo operar en cada fase del proceso, tales como la secuencia de operaciones, las tareas que componen cada



una, el tiempo del ciclo, el stock admitido y las actividades relacionadas con el aseguramiento de la calidad. El hecho de estandarizar no implica que en un futuro no pueda mejorarse, no es un proceso cerrado ni definitivo, sino que el estándar es la base para las siguientes mejoras (Abdulmalek et al., 2006; Cuatrecasas, 2010), “una vez que se ha encontrado una forma de realizar una operación: será la única forma de realizar esa operación, hasta que se vuelva a producir una mejora”.

La variación del procedimiento no es aceptable si lo que se pretende es garantizar la calidad homogénea y el mínimo desperdicio, y esta regla es aplicable a todos los niveles de la empresa. La regla en la que se sustenta esta herramienta es que la variación es sinónimo de defectos, y es precisamente el trabajo estándar lo que nos lleva hacia la reducción de la variación (variación reducida = niveles de defectos reducidos). Existen diferentes formas de analizar y reducir la variación; para analizarla, una buena herramienta es el uso de control estadístico de procesos, que, mediante la selección de variables críticas, permite analizar el comportamiento del proceso y conocer su estado de control. Si el objetivo es mejorar o reducir la variación, siempre se debe partir de un estándar que refleje la situación actual. Los estándares requieren que se escriban fichas de operaciones y procedimientos muy simples, visuales y eficaces.

### 3.2.2.3. *Just in time y Takt time*

La herramienta *Just in time* (JIT) significa la incorporación del tiempo como un factor relevante para obtener una mayor ventaja competitiva, reducir costes y mejorar la productividad. Con la herramienta JIT se conoce que cada proceso debe entregar su producto al proceso siguiente o cliente en la cantidad y momento que se precise, de forma tal que se pueda evitar stocks y tiempos de espera que son desperdicios importantes (Cuatrecasas, 2010).

Por otra parte, *Takt time* es el tiempo del ciclo de un proceso que se adapta para responder a la demanda, este tiempo establece el ritmo de la producción en función de la demanda del cliente y regula la cadencia de todo el sistema *Lean*.

Teniendo en cuenta que el ritmo del proceso lo va a determinar la actividad más lenta, ya que la cadencia completa del proceso la marcará el tiempo con el que la unidad de entrega al cliente sea terminada, la unidad que debe transitar el flujo del proceso o lote debe procurarse que sea de la misma dimensión de la unidad de entrega. Los métodos de producción a gran escala consisten en fabricar grandes lotes de una determinada pieza, que luego tiene que hacer cola de espera en operaciones aguas abajo, lo que se traducirá en retrasos de la entrega y romperá con el *Takt time*.

#### 3.2.2.4. Flujo y VSM

Dependiendo de la naturaleza de los productos procesados pueden encontrarse diferentes tipos de procesos, como los de producción continua (cuyo producto no es divisible en unidades), cuyo control es sistemáticamente de la máquina ya que se trata de procesos automatizados, y los productos discretos (unidades independientes) que tanto si su disposición es automatizada como en cadena, pueden tener ambos tipos de control del ciclo, según sea la capacidad de las máquinas o la actividad del operario la que predomine (Cuatrecasas, 2010). Los procesos de productos discretos tendrán una mayor facilidad para asociarlos con la herramienta *Takt time* por la facilidad que tienen para ajustar los lotes de acuerdo a la demanda; por el contrario, los productos de producción continua van a tener mayor dificultad para ajustarse al *Takt time* (Womack y Jones, 2012).

La reducción del tamaño de lote da lugar a una reducción del volumen de stocks en proceso, aunque pueda implicar un aumento de la cantidad de manipulaciones. Los sistemas *Lean* pretenden reducir el lote al mínimo, por lo que en las implantaciones *Lean*, las actividades de manipulación deberán ser realmente mínimas. En cualquier

caso, la reducción del tamaño de los lotes de producción o proceso y de transferencia siempre dará lugar a tiempos de proceso menores.

El mapa de flujo de valor (VSM), es el mapa que sirve para la identificación de todas las actividades específicas que ocurren a lo largo de un flujo de valor para un producto o familia de productos (Abdulmalek et al., 2006; Womack y Jones, 2012), siendo una herramienta eficaz para la práctica de la manufactura *Lean*.

Para la ejecución del VSM se propone un acercamiento a todo el flujo del proceso en un método de tres pasos en el que, primero, se produce un diagrama que muestra los flujos reales de material e información o el estado actual sobre cómo funciona el proceso real. En segundo lugar, se realiza un mapa del estado futuro, para identificar las causas raíz de los desperdicios y, las mejoras del proceso, que podrían dar lugar a un impacto financiero en la organización considerable, obteniendo un flujo de proceso *lean*, libre de tareas que no añaden valor. Estas mejoras se llevan a cabo, por una parte, a través de un plan de implementación, y por otra, a través de un proceso *kaizen* (mejora continua) para los detalles parciales y las acciones necesarias para lograr los objetivos del proyecto (Abdulmalek et al., 2006; Simons y Taylor, 2007 y Rahani y al-Ashraf, 2012; Chen et al., 2013).

Con el flujo se consigue enlazar directamente todas las actividades que han de conducir al cliente, haciendo de éste el objetivo principal y facilitando la eliminación de todos los desperdicios que podrían entorpecer, desviar y, con frecuencia, interrumpir la operativa en su camino hacia el cliente. Con la operativa *Pull* aseguramos que este flujo de actividades se concentre en lo que el cliente realmente demanda, en la medida que lo demanda y cuando lo demanda.

### 3.2.2.5. *Kaizen*

Es un método japonés para la mejora continua de procesos. Distintos autores (Cuatrecasas, 2010; Imai, 2012) indican que cuando los procesos sufren un procedimiento de estandarización, las mejoras resultantes con frecuencia son pequeñas y repetitivas, denominándose *Kaizen* o mejora continua. La mejora debe abordarse desde una realidad actual estandarizada, pues la ausencia de estandarización haría imposible la mejora, ya que la estandarización confiere estabilidad al proceso, lo que es necesario para abordar cualquier mejora, es más, antes de mejorar cualquier aspecto operativo, hay que asegurarse de que los problemas que pueda presentar el proceso tienen lugar actuando bajo el método estandarizado.

### 3.2.2.6. *Pull*

Un sistema *Pull* es un sistema de instrucciones de producción y entrega en cascada que va desde el final del flujo del producto (aguas abajo) hacia su inicio (aguas arriba), en el que nada se fabrica por el proveedor hasta que el cliente expresa una necesidad. Esto significa que ningún proceso aguas arriba debe producir un bien o servicio hasta que el consumidor, aguas abajo, lo solicite, es decir, que el movimiento de materiales y productos se ajuste a la demanda en todo momento (Cuatrecasas, 2010; Jones y Womack, 2013).

Con este sistema, siempre se acabará produciendo solo los productos con los que ha habido demanda. Con ello será la demanda la que atraerá a la producción, y no la producción la que será empujada al cliente (lo que se conoce como *push*) como en los sistemas de trabajo convencionales (Cuatrecasas, 2010)

### 3.2.2.7. SMED y Mantenimiento productivo total

Con la finalidad de mantener un flujo continuo, *Lean* propone las herramientas SMED (Single Minute Exchange of Die) y Mantenimiento productivo total (TPM). SMED es una técnica que proporciona una forma rápida y eficiente de hacer cambios en una fabricación, con la intención de que la duración total sea inferior a 10 minutos para que los cambios no obstruyan el flujo continuo (Jones y Womack, 2012; Borges et al., 2015). El TPM son una serie de métodos creados para garantizar que cada máquina de un proceso productivo siempre pueda realizar la tarea para la que está preparada a fin de evitar cualquier fallo o interrupción de la producción (Abdulmalek et al., 2006; Jones y Womack, 2013; Dora, 2014).

### 3.2.3. CONCEPTO HOLÍSTICO

La mayoría de los estudios que se encuentran en la literatura científica se basan en la aplicabilidad de herramientas y técnicas *lean* individuales e ignoran los principios holísticos o filosóficos más amplios de la manufactura *lean*.

Shah y Ward (2007), describen la producción *lean* de manera más integral al capturar las prácticas internas y externas para alinear mejor la producción con los orígenes de la filosofía y desarrollar medidas adecuadas. Estos autores identificaron 10 elementos *Lean* relacionados con la participación del proveedor, la participación del cliente y los problemas internos de la empresa: (1) el grado de involucración del cliente, (2) la retroalimentación del proveedor, (3) la entrega justo a tiempo, (4) el desarrollo proveedores, (5) el *pull*, (6) el flujo, (7) el poco tiempo de puesta en marcha, (8) el control de procesos, (9) el mantenimiento productivo y (10) los empleados involucrados. Hay dos razones concretas para considerar el modelo de Shah y Ward en la presente Tesis Doctoral; en primer lugar, incluye tanto personas como elementos de proceso de fabricación *lean*; y, en segundo, se incluyeron los mencionados factores internos y externos en el marco del concepto holístico. Otras investigaciones tuvieron un enfoque

limitado en lo referente a las personas y a los aspectos del proceso de implementación *lean*, lo que impide profundizar respecto al concepto holístico.

Es la adopción de este modelo lo que ofrece profundidad a la presente investigación, ya que es la garantía de que no se consideren los factores aislados para el análisis del uso y de la repercusión del uso de las herramientas *lean*, en las industrias agroalimentarias andaluzas, si no que más bien el enfoque se mantenga sobre los principios *lean*, para evidenciar las ventajas o desventajas de su implantación.

#### **3.2.4. AVANCES ACADÉMICOS SOBRE *LEAN* EN ESPAÑA**

La mayoría de las publicaciones disponibles relativas a la gestión *Lean* han sido abordadas bajo la modalidad de casos de estudio (Glaser-Segura et al., 2011; Pool et al., 2011; Dora et al, 2012; Tanco et al., 2013; Kennedy et al., 2013; De Steur et al., 2016; Dora et al, 2016), y muy pocos se basan en encuestas empíricas, debido a la limitada tasa de respuesta de las PYMES alimentarias, evaluando, la mayoría, la aplicabilidad de herramientas y técnicas *Lean* en las mismas e ignorando los principios filosóficos de la metodología *Lean*.

En la Tabla 3.2 se presenta los estudios encontrados en la literatura científica publicada en la base de datos de resúmenes y citas de literatura SCOPUS: revistas científicas, libros y actas de congresos, extrayendo los asociados con la gestión *lean* en España, destacando el año de publicación, el entorno industrial bajo el que se desarrolló y la localización geográfica donde se realizó el estudio.

**Tabla 3.2.** Artículos científicos publicados en revistas de impacto, asociados al sistema de gestión *Lean* en España.

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Título del trabajo</b>	<b>Sector</b>	<b>Localización</b>
Anónimo	1994	Plant redesign lifts sintermetal's shock absorber productivity.	Metalúrgica	Barcelona
Pallarés-Barberá, M.	1998	Changing Production Systems: The Automobile Industry in Spain	Automotriz	España
Domingo, R., Álvarez, R., Peña, M.M., Calvo, R.	2007	Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study	Automotriz	España
Barraza, M.F.S.A, Smith, T.B, Dahlgaard-Park, S.M.C	2009	Lean-kaizen public service: an empirical approach in Spanish local governments	Servicio público	Cataluña
Pérez, C., de Castro, R., Simons, D., Giménez, G.	2010	Cooperation in the supply chain and lean production adoption: Evidence from the Spanish automotive industry	Cárnica	Cataluña
Salles, J.A.A., Vieira Jr., M., Vaz, R.R., Vanalle, R.M.	2010	Manufacturing strategies in the auto industry in Brazil and Spain	Automotriz	España
Ianni, P.	2011	Notes from the field: Transforming Europe's second largest car manufacturer: PSA peugeot citroën	Automotriz	Galicia
Bonavia, T., Marin-García, J.A.	2011	Integrating human resources management in rational production and its impact on organizational performance	Cerámica	Valencia

**Tabla 3.2.** Artículos científicos publicados en revistas de impacto, asociados al sistema de gestión *Lean* en España (continuación).

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Título del trabajo</b>	<b>Sector</b>	<b>Localización</b>
Losada, J.M.S., Eraso, J.C., Gárci, P.D.	2012	Airport management: The survival of small airports	Aeronáutica	España
Moyano-Fuentes, J., Sacristán-Díaz, M., Martínez-Jurado, P.J.	2012	Cooperation in the supply chain and lean production adoption: Evidence from the Spanish automotive industry	Automotriz	España
Sopelana, A., Flores, M., Martínez, L., Flores, K., Sorli, M.	2012	The application of an assessment tool for lean product development: An exploratory study in Spanish Companies	Automotriz, aeronáutica, electrodomésticos	España
García, I., Soriano, E., Rubio, H., García, J.M.	2015	Simulator training for employees in the field of production: A Robert Bosch Gasoline Systems case	Automotriz	Madrid
Ruiz Chico, J.	2013	Valor y trazabilidad: Análisis de los posibles despilfarros en el sector cárnico español según las políticas de seguridad alimentaria	Cárnica	España
Pellicer, E., Ponz-Tienda, J.L.	2014	Teaching and learning lean construction in Spain: A pioneer experience	Académico	Valencia
Crema, M., Verbano,	2015	How to combine lean and safety management in health care processes: A case from Spain	Salud	España



**Tabla 3.2.** Artículos científicos publicados en revistas de impacto, asociados al sistema de gestión *Lean* en España (continuación).

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Título del trabajo</b>	<b>Sector</b>	<b>Localización</b>
Lampón, J.F., Lago-Peñas, S.b, González-Benito, J.	2015	International relocation and production geography in the European automobile components sector: The case of Spain	Automotriz	Barcelona
Olivella, J., Gregorio, R.	2015	A case study of an integrated manufacturing performance measurement and meeting system	Automotriz	Barcelona
Camarotto, J.A., Vanalle, R.M.	2015	Production organization and work aspects in companies of the automotive sector in Spain and Brazil	Automotriz	General
Marín-García, J.A., Bonavía, T.	2015	Relationship between employee involvement and lean manufacturing and its effect on performance in a rigid continuous process industry.	Industria de la cerámica	Valencia

Analizando el número de publicaciones relacionadas con la aplicación de *Lean manufacturing* en España (Tabla 3.2) se observa que los estudios científicos acerca del uso de técnicas y herramientas de gestión *lean* es escaso, y en el ámbito agroalimentario se agudiza dicha tendencia. Como se puede apreciar en la Tabla 3.2, son 20 estudios en total los que abordan la temática *lean manufacturing* en España, efectuándose en su totalidad entre los años 90 hasta la actualidad, observando una mayor concentración de los mismos desde la década del 2010. Esto sugiere, una escasa confianza y poco avance en el uso del sistema de gestión *Lean* en el sector alimentario español.

Por otra parte, en cuanto al ámbito de aplicación del estudio, la mayoría se tratan de publicaciones que han sido dirigidas a analizar implementaciones en industrias automotrices y sectores de la misma, así como también en el ámbito de servicios (la administración pública, hospitales), siendo reducido el número de experiencias en industrias de alimentos. El hecho de que se encuentren muchos más estudios en el

entorno de la automoción es totalmente coherente ya que, como se ha comentado con anterioridad, esta filosofía de trabajo tiene su origen en el sector de la automoción (Abdulmalek et al., 2006; Kumar et al., 2006; Shah y Ward, 2007; Arlbjørn et al., 2011; Jones y Womack, 2012).

Analizando la localización de las empresas en las que se ha aplicado conceptos *lean* (Tabla 3.2) se observa que la mayoría de las implantaciones se han desarrollado predominantemente en el norte de España.

### **3.2.5. APLICACIONES DE LA METODOLOGÍA *LEAN MANUFACTURING* A EMPRESAS AGROALIMENTARIAS**

A diferencia de los procesos industriales, las industrias de alimentos en general son empresas con baja diversidad de productos y grandes volúmenes de producción continua, que no suelen recomendarse para la implantación de algunas herramientas *Lean* (Abdulmalek et al., 2006; Dora et al., 2014).

Según Dora (2014) las brechas de investigación que se encuentran en la literatura sobre la manufactura *Lean* en las empresas de procesamiento de alimentos pueden resumirse en los siguientes puntos:

- La mayoría de los estudios se basan en la aplicabilidad de herramientas y técnicas individuales *Lean* e ignoran los principios holísticos y amplios de fabricación. Es importante destacar que hay muy pocos estudios que intentan integrar la garantía de calidad (Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos, APPCC) y la mejora de la calidad (*Lean manufacturing*) sin proporcionar un marco concreto. La bibliografía sobre la garantía de calidad es dominante en comparación con la investigación sobre la mejora de la calidad.

- La aplicabilidad y la eficacia de la manufactura *Lean* en la industria de procesamiento de alimentos sigue siendo un tema debatido y la academia aún tiene que llegar a un consenso.
- Actualmente no existe un mecanismo claro que permita a las empresas evaluar su elegibilidad para llevar a cabo la implementación de la fabricación *Lean*.
- No existen estudios que investiguen cuál de las varias herramientas *Lean* son más frecuentes en las PYMES de procesamiento de alimentos.
- El impacto de variables de control tales como el tamaño de la empresa y el país de operación en la implementación *Lean* no se han investigado en el contexto de procesamiento de alimentos.
- No existe un estudio sobre la forma en que los factores determinantes afectan la adopción de *Lean* en empresas de procesamiento de alimentos pequeñas y medianas. Del mismo modo, no existe un estudio que explore el impacto de factores contextuales específicos del sector, relacionados con el tipo de producto, el proceso de producción, la cultura organizacional y la relación con los actores de la cadena en la implementación de la manufactura *Lean* y el desempeño operacional.
- La mayoría de los estudios disponibles son casos de estudios y muy pocos se basan en encuestas empíricas. La razón que se cita en la bibliografía es una baja tasa de respuesta por parte de las empresas alimentarias pequeñas y medianas.

Los vacíos de información en la bibliografía disponible demuestran que es necesaria una visión en los contextos específicos en los que operan las PYMES de procesamiento de alimentos, con el fin de revelar sus desafíos y posibilidades en la

aplicación *Lean*. Sólo entonces será posible implementar *Lean* manufacturing con la garantía de obtener mejores resultados.

A continuación, se comentan diferentes estudios relacionados con las aplicaciones *Lean* en la industria agroalimentaria. No obstante, hay que tener en cuenta las particularidades de la misma, que hacen que la introducción de nuevas metodologías de gestión de procesos sea difícil (Abdulmalek et al., 2006; Dora et al., 2014).

Dudbridge (2011) presenta tres razones para justificar estratégicamente el uso de *lean* en el entorno agroalimentario en cuanto al suministro de alimentos seguros, asequibles y abundantes. Por una parte, la fiabilidad de las cadenas de suministro es crítica, garantizándola a través de la disponibilidad de los productos y la competitividad de los precios que son primordiales para el éxito; y finalmente las tendencias alimentarias, los consumidores están constantemente tentados a probar nuevos productos, lo que hace que las empresas lancen nuevos productos con regularidad y, por consiguiente, aumenten la complejidad de la producción.

La naturaleza heterogénea de las industrias agroalimentarias genera las dificultades para aplicar los conceptos *Lean*, ya que presentan una elevada variabilidad tanto en la calidad de las materias primas como en las demandas del cliente, al tiempo que la oferta es altamente impredecible; estas características hacen que ésta sea una industria muy cambiante y por lo tanto de difícil medición y control (Dudbridge, 2011; Dora et al., 2014, Borges et al., 2015). Estos niveles de dificultad implícita en el concepto de la industria de alimentos, limita la introducción de nuevas metodologías de gestión, ya que los cambios suelen asociarse con la inclusión de más variabilidad.

Se han analizado a través de encuestas, cuáles pueden ser los factores de éxito para hacer frente a las implantaciones *Lean*, así como los aspectos más representativos para analizarlos. Respecto a la aplicabilidad y los resultados de las prácticas *Lean* en las empresas agroalimentarias, He y Hayya (2002) examinaron el impacto de la producción

justo a tiempo (*just-in-time* o JIT) en la calidad de los alimentos a través de un estudio empírico mediante la encuesta de 48 empresas alimentarias estadounidenses, obteniendo que el JIT y la participación de los empleados en la resolución de problemas tiene un impacto positivo en la calidad de los alimentos, llegando a la conclusión de que la gestión de material en la empresa tiene un efecto significativo sobre la calidad de los alimentos.

Por su parte, Kumar y Antony (2008) realizaron una encuesta a 64 PYMES del Reino Unido, perteneciendo 7 al sector agroalimentario. Los resultados mostraron que el 26,5% de la totalidad de empresas encuestadas adoptaron *Lean* y que la participación de la alta dirección, la comunicación, el cambio cultural y la capacitación fueron los factores críticos de éxito para la implantación de iniciativas de mejora de la calidad. Los autores encontraron como barreras en la manufactura *Lean* la disponibilidad de recursos, la falta de conocimientos, la falta de capacitación, la resistencia interna y la mala participación de los empleados.

De manera similar, Scott et al. (2009) llevaron a cabo una encuesta cuantitativa para analizar los programas de mejora continua y los factores de motivación entre 46 PYMES de alimentos canadienses. El resultado de la encuesta reveló algunos hallazgos interesantes, ya que, del total de las empresas encuestadas, diez de ellas implementaban la manufactura *Lean*. Los autores encontraron además que, introduciendo programas *Lean* o similares, las empresas tenían menos devoluciones de productos en comparación con aquellos que no tenían tales programas. Sin embargo, la mitad de las empresas encuestadas no estaban seguras de si estos programas de mejora habrían resultado en ahorros de costos. Finalmente, los autores concluyeron que los beneficios de calidad y seguridad fueron mayores en las PYMES de alimentos que implementaban programas de manufactura *Lean* y programas similares.

Existen publicaciones que refieren casos de éxito en la implantación de herramientas *lean* en industrias del sector agroalimentario. Así, Lehtinen y Torkko

(2005) mostraron cómo el mapa de flujo de valor (VSM) podría aplicarse a una empresa finlandesa de fabricación de alimentos para analizar y eliminar inventarios innecesarios y otras formas de residuos a lo largo de la cadena de suministro, reduciendo los costes y aumentando la satisfacción del cliente.

Cox y Chicksand (2005) llevaron a cabo un estudio sobre las fortalezas y debilidades de la aplicación del sistema *Lean* a la cadena de suministro de carnes rojas en el Reino Unido. Estos autores encontraron que, aun trayendo beneficios la aplicación de la metodología de forma interna en cada una de las partes que conforman la cadena de suministro, los aspectos relacionados con la aplicación de las técnicas *lean* entre los distintos eslabones de la cadena no permitían la aplicación real de la metodología *Lean* en todo su conjunto. Los autores concluyeron que, para la mayoría de los participantes en esta cadena de suministro, la adopción de los principios de *Lean manufacturing* resultarían en un incremento del nivel de dependencia sobre los consumidores finales y, por tanto, en una reducción de su propia rentabilidad.

Con relación a la motivación e implicación del personal, Swink et al. (2005) mostraron cómo su desarrollo mejora las habilidades para desempeñar sus tareas de manera más efectiva y eficiente y, por lo tanto, para mejorar la productividad y reducir costes. Yeung et al. (2006) explicaron que las prácticas de control y mejora de procesos ayudan a los trabajadores a investigar las causas fundamentales y tomar medidas correctivas cada vez que se encuentra un fallo, por lo tanto, reduciendo los costos de fallo producidos por productos de baja calidad. Estos trabajos se enfocan en evaluar la repercusión de las medidas tomadas sobre el concepto holístico de la filosofía *lean*.

Zokaei y Simons (2006) llevaron a cabo un caso de estudio en nueve cadenas de carne roja en el Reino Unido e identificaron una serie de puntos de desperdicios en la cadena de valor relacionadas con la mortalidad, entrega de granjas y limpieza, demostrando que, al aplicar dos conceptos claros como “*takt time*” y estandarización, cada actor en la cadena podría ahorrar de 2 a 3 por ciento de sus costos.

Engelund et al. (2009) discutieron la aplicación de distintas *Lean* a la preparación de alimentos a gran escala en un hospital. Se demostró que el diagrama de flujo de valor (VSM), *kaizen* y las 5S ayudaron a mejorar la eficiencia de producción, la calidad del producto y el entorno de trabajo. El estudio también señaló, no obstante, que la producción *just in time* y el sistema *pull* no produjeron los resultados deseados. Además, el estudio concluyó que la aplicación exitosa de *Lean* en la producción de alimentos depende de la seguridad alimentaria, los requisitos de calidad y la organización del trabajo en los sistemas circundantes.

Del mismo modo, Upadhye et al. (2010) llevaron a cabo un caso de estudio en una mediana empresa de fabricación de galletas en el marco de la fabricación *Lean*. El resultado del estudio demostró que las técnicas *Lean* tales como 5S, *kaizen*, cambios rápidos (SMED) y el mantenimiento total preventivo (TPM) pueden utilizarse eficazmente para mejorar la disponibilidad de equipos, reducir el desperdicio de material y mejorar la calidad. El obstáculo más importante que se encontró fue la resistencia al cambio tanto de los empleados como de los proveedores. En el estudio también se concluyó que el éxito de la aplicación *Lean* se basaba en el compromiso de la alta dirección y la formación, la sensibilización y la participación por parte de los empleados.

El impacto de las prácticas *Lean* sobre la reducción de costes ha sido reconocida en la literatura por distintos autores (Shah y Ward, 2007; Vinodh y Joy, 2012). Lee y Ebrahimpour (1984) sugieren, por su implementación de un sistema JIT en las empresas, promover las entregas de pedidos en lotes pequeños y frecuentes que permitan reducir el inventario en las plantas, y con ello también reducir los costes. Por otro lado, tener una relación a largo plazo con los proveedores redunda en beneficios para la empresa por permitir menores costes de fabricación debido a la confianza y a los grandes volúmenes de compra (Prajogo y Olhager, 2012). Finalmente, Trygg (1993) resume que una amplia participación de los clientes en el desarrollo de productos y procesos permite

el desarrollo de productos que satisfacen las necesidades de los clientes y por ende se obtiene una reducción de costes.

En el área de gestión de operaciones, la literatura reciente hace énfasis en la aplicación de prácticas de manufactura *Lean* para mejorar la eficiencia operativa y la productividad. La mayoría de estos estudios, realizados bajo el método de casos de estudio, se centran en técnicas individuales de fabricación para resolver problemas de eficiencia (Dora et al., 2014). Como se observa en los estudios previamente mencionados (Zokaei y Simons., 2006; Engelund et al., 2009; Upadhye et al., 2010), se limitan al análisis de técnicas de fabricación *Lean*, lo que reduce el alcance de los resultados en cuanto al concepto holístico de la filosofía *Lean*, ya que esta metodología es mucho más que simples herramientas y técnicas, es una filosofía para las empresas que buscan continuamente la perfección (Hines et al., 2004), motivo por el que la línea de investigación sobre la aplicabilidad de la producción *Lean* en la industria de procesamiento de alimentos en general continúa evolucionando.

### **3.3. PROPIEDADES COMBINATORIAS DE *LEAN MANAGEMENT***

Distintos autores (Sanders et al., 2016; Ahuja et al., 2018; Ghobakhloo, et al., 2018, Wang et al., 2018) sugieren la combinación de la metodología *Lean* con las tecnologías de las plantas de producción para mejorar la calidad del producto, el tiempo de entrega, la flexibilidad, y el coste y otras dimensiones de los procesos. En consecuencia, numerosos estudios (Tabla 3.3) han intentado identificar los diversos recursos que se pueden utilizar para ayudar a las empresas a mejorar sus dimensiones operativas. Basada en la búsqueda avanzada en este referente (Das, 2001; Swamidass, 2003), los recursos de mejora de la fabricación pueden agruparse en dos categorías principales, a saber, tecnologías de fabricación y prácticas *Lean*.



Dado que cada vez es más frecuente que las industrias adopten combinaciones de las tecnologías de fabricación y las prácticas Lean es importante comprender los efectos sinérgicos de ambas para mejorar el rendimiento operacional. Sin embargo, solo unos pocos estudios (Challis et al., 2002) han presentado en conjunto aspectos de las tecnologías y las prácticas Lean como resultados únicos de la sinergia en un único estudio.

No existen directrices claras sobre cómo combinar diferentes métodos o técnicas en la gestión empresarial. Esto se vuelve obvio a medida que la literatura describe diferentes formas de integrar métodos, técnicas y herramientas, como Lean Management y Six Sigma, por ejemplo. Para abordar sistemáticamente el tema de la integración en la gestión de empresas, es necesario llevar a cabo una revisión en la bibliografía los avances que se han hecho en este referente, ayudando a crear una base firme para avanzar en el conocimiento, así como conocer el beneficio que tiene sobre la simple implantación, el hecho de combinar otras tecnologías con lean.

Johannsen (2011) llevó a cabo una investigación con el objetivo de evaluar los esfuerzos de integración de herramientas lean en la gestión de la calidad. Considerando la creciente cantidad de técnicas y métodos en la gestión de la calidad, la integración se convierte en un medio para manejar esta variedad de enfoques. Sin embargo, el tema de la integración de métodos y técnicas de forma estructurada no ha sido abordado sistemática o teóricamente en el ámbito de la gestión de la calidad.

El análisis de los diferentes métodos, técnicas y su interacción puede desencadenar nuevos escenarios de integración. En Johannsen (2010) se desarrolló un enfoque detallado para la integración, fusionando varios métodos de gestión de la calidad en un método final, interpretándolos como "programas / métodos de mejora". Sin embargo, se deben desarrollar otros enfoques cuando se apoyen otros tipos de interpretaciones de los métodos de gestión, o cuando no se desee hacer una fusión de métodos, sino con otro tipo de herramientas o técnicas.

Para realizar el análisis de las diferentes alternativas es de utilidad evaluar las necesidades que el entorno presenta, ya que en base a esto se combinará una herramienta/metodología u otra. La evolución en la gestión, tanto para la mejora de la calidad, como para la producción eficiente, exige el tratamiento de importantes cantidades de información recogida en puntos estratégicos del proceso, que bien puede ser recogida documentalmente o mediante el uso de sensores, permitiendo alimentar dichos sistemas de una forma segura y objetiva, que garantice la toma de decisiones óptimas.

Una serie de estudios empíricos han investigado el efecto de las tecnologías de fabricación y las prácticas lean en diferentes medidas de rendimiento operativo (calidad del producto, tiempo de entrega, flexibilidad en la fabricación, coste, mermas) que en fin último son el desperdicio (Swamidass, 2003; Zahraand Das, 1993). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se centran en tecnologías de fabricación o en prácticas Lean, y no en la integración de las mismas.

### **3.3.1 AVANCES ACADÉMICOS SOBRE LA COMBINACIÓN DEL USO DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS *LEAN***

Como se comentó anteriormente, hace algunos años resultaba complicado encontrar literatura acerca de investigaciones sobre la filosofía Lean, sin embargo, en la actualidad son muchas las aplicaciones que se observan en la literatura acerca de Lean, y con el tiempo y las evidencias encontradas se ha profundizado en los hallazgos sobre las propiedades combinatorias de Lean con tecnología. La Tabla 3.3 muestra un resumen de los avances académicos sobre combinación y sinergias de Lean con distintas tecnologías.

**Tabla 3.3.** Avances académicos de aplicaciones Lean con nuevas tecnologías

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Herramientas Lean</b>
<b>Bose y Pal, 2005</b>	Auto-ID: managing anything, anywhere, anytime in the supply chain.	Auto-ID	<i>Lead time</i> y reducción de transporte
<b>Wan y Chen, 2009</b>	Decision support for lean practitioners: A web-based adaptive assessment approach	Web	Flexibilidad, calidad, VSM, standard, SMED, <i>Pull</i> , control visual.
<b>Riezebos y Klingenberg, 2009</b>	Advancing lean manufacturing, the role of IT	TI	Concepto holístico
<b>Setijono et al., 2010</b>	Decision support system and the adoption of lean in a Swedish emergency ward: Balancing supply and demand towards improved value stream	Simulación	Balanceo y flujo del valor
<b>Vinodh y Balaji., 2011</b>	Fuzzy logic based leanness assessment and its decision support system	Modelo predictivo	Grado de implementación
<b>Caballero-Gil et al, 2013</b>	IoT Application in the Supply Chain Logistics	RFID, EPC, Wi-Fi, GPS, códigos QR	Cadena de suministro
<b>Chen et al., 2013</b>	Warehouse management with lean and RFID application: a case study	RFID	Concepto holístico y VSM
<b>Ganiyusufoglu et al., 2013</b>	Chinese Approach to Sustainable Manufacturing	Integración digital	Satisfacción del cliente
<b>Nicoletti, 2013</b>	Lean and automate manufacturing and logistics	Automatización	Mejorar la calidad, reducir el desperdicio y aumentar la agilidad
<b>Schuh et al., 2013</b>	Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical-systems.	Hardware y software	Control de la eficiencia y calidad
<b>Khanchanapong et al., 2014</b>	The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance	Diseño asistido ingeniería asistida por computadora Fabricación asistida, control numérico computarizado, robots y ERP.	Calidad, tiempo de entrega y flexibilidad
<b>Lee et al., 2014</b>	Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment	Big data	Productividad
<b>Raki, 2014</b>	An application of RFID in supply chain management to reduce inventory estimation error	RFID	Reducción de inventarios
<b>Wan et al., 2014</b>	Research on IOT-Based Material Delivery System of the Mixed-Model Assembly Workshop	IoT	Optimización del transporte
<b>Brauner y Ziefle, 2015</b>	Human Factors in Production Systems.	TIC	Eficiencia y calidad de producto
<b>Li et al., 2015</b>	Big data in product lifecycle management.	Big data	<i>Lead time</i>

**Tabla 3.3.** Avances académicos de aplicaciones Lean con nuevas tecnologías (continuación)

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Herramientas Lean</b>
<b>Schuh et al., 2015</b>	<b>Promoting work-based learning through industry 4.0</b>	<b>TI</b>	<b>Formación del personal</b>
<b>Tepes, M et al, 2015</b>	Smart tool, machine and special equipment: overview of the concept and application for the toolmaking factory of the future.	TIC	Añadir valor al cliente
<b>Weyer,et al., 2015</b>	Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems.	IoT	Flexibilidad
<b>Ahuja, et al., 2018</b>	Developing organizational capabilities to deliver lean and green project outcomes using BIM	Modelo predictivo	Participación de los trabajadores
<b>Ghobakhloo et al., 2018</b>	Lean-green manufacturing: The enabling role of information technology resource	Modelo predictivo	VSM, reducción del desperdicio
<b>Mao et al., 2018</b>	Design of intelligent warehouse management system.	Integración TIC	Sistema <i>Pull</i> , gestión de stock
<b>Reis et al, 2018</b>	A model for lean and green integration and monitoring for the coffee sector.	Modelo predictivo	Desarrollo de proveedores
<b>Roy, 2018</b>	The role of internet of things (IoT) and big data as a road map for smart management systems: Case studies across industries.	IOT y Big data	Cadena de suministro ágil y satisfacción del cliente
<b>Wang et al., 2018</b>	Spacecraft system engineering development management platform based on lean and collaborative concept.	Integración TIC	Flujo
<b>Hartmann et al., 2018</b>	Value stream design 4.0: Designing lean value streams in times of digitalization and industrie 4.0	Integración TIC	VSM
<b>Hoellthaler et al., 2018</b>	Digital lean production – An approach to identify potentials for the migration to a digitalized production system in SMEs from a lean perspective	TI	Valor y flujo
<b>Cannata et al, 2018</b>	SOCRADES: A framework for developing intelligent systems in manufacturing.	Sistemas de fabricación inteligentes	Eficiencia

Como se observa, en los últimos años la mayoría de los estudios se dirigen a la combinación de Lean, desde el punto de vista holístico, y los sistemas inteligentes de

tecnologías de información, con énfasis en implantaciones sobre empresas que desarrollan temas relativos a la industria 4.0.

Si se analizan casos como los mostrados en la Tabla 3.3, en los que la tecnología puede ayudar a mejorar la calidad, la eficiencia y a reducir los costes (Schuh et al., 2013; Nicoletti, 2013; Brauner y Ziefle, 2015; Ghobakhloo et al., 2018; Cannata et al, 2018), es más sencillo comprender las sinergias y los beneficios del uso de métodos y técnicas combinadas. A continuación, se describe una serie de estudios en los que se han combinado técnicas con resultados positivos.

El uso de Tecnologías de diseño computarizado (CAD)/fabricación computarizada (CAM), que proporcionan un fácil acceso y almacenamiento de características de diseño durante el diseño del producto, ayuda en el manejo de información compleja obtenida de los clientes (Khanchanapong et al., 2014). Utilizando estas tecnologías, los diseños se pueden desarrollar con mayor detalle, y se codifica la información y el conocimiento para hacerlo menos abstracto, lo que permite al equipo diseñar y desarrollar productos usando tecnologías más efectivas (como CAD) asegurando así la satisfacción de las necesidades de los clientes, ya que sus especificaciones están bien incorporadas al diseño del producto (Malhotraetal., 2001; Khanchanapong et al., 2014).

La relación sinérgica entre las tecnologías de fabricación y las prácticas Lean también conduce a la reducción del tiempo de ejecución. Varias empresas ofrecen un servicio de “capacitación en el lugar de trabajo”, esto es, trasladan a los empleados de una planta a otras empresas líderes para ver cómo hacen un uso efectivo de las tecnologías (como los robots). Esta actividad puede dar como resultado la disminución de los tiempos de configuración y la eliminación de averías de las máquinas (Khanchanapong et al., 2014). Otro aspecto positivo sería la reducción del desperdicio relacionado con el equipo, como el tiempo de inactividad o las pérdidas de velocidad, entre otros, de forma que, si las pérdidas de velocidad son reducidas, los tiempos de entrega posiblemente también se verán disminuidos.

Las tecnologías de fabricación y las prácticas Lean interactúan para permitir alcanzar la meta de la flexibilidad. *Just in time* promueve el uso del diseño y de las tecnologías de fabricación mediante la eliminación de las restricciones de inventario, aunque la eliminación del inventario requiera una mayor integración de la oferta base con producción. Por su parte, Chan y Smith (1993) sugieren que la implementación de JIT, en cambio, produce beneficios al permitir el uso de tecnologías tales como CAD, que han sido útiles en la simulación del flujo de producción.

La reducción del tiempo de puesta en marcha puede requerir un aumento en la inversión de capital fijo (tecnologías de fabricación) para mejorar la flexibilidad. Burgess y Gules (1998) explican que, en la práctica, los gerentes parecen mezclar las tecnologías de fabricación con prácticas Lean para apoyarse porque son mutuamente beneficiosos. En una investigación basada en casos de estudios, Esan et al. (2013) y Khanchanapong et al. (2014) encontraron que la tecnología CAD / CAM en conjunto con el programa de capacitación apropiado mejora la velocidad de respuesta de la empresa a las necesidades del mercado. Esto lo han hecho facilitando una verdadera ingeniería colaborativa con multidisciplinariedad extendida en la empresa, que incluye el diseño mecánico, herramientas, ingeniería de sistemas, análisis de mecanizado, simulación y otros.

El éxito de las aplicaciones Lean manufacturing exige esfuerzos por parte de las empresas para superar varios obstáculos. Las industrias tecnológicas (denominadas así por basar su actividad empresarial en la innovación tecnológica) y que se mantienen comunicadas mediante redes informáticas hacen que una fábrica sea inteligente al aplicar tecnologías orientadas al futuro. La mayoría de los estudios que se muestran en la Tabla 2 analizan el vínculo (Schuh et al., 2013; Nicoletti, 2013; Brauner y Ziefle, 2015; Ghobakhloo et al., 2018; Cannata et al, 2018) y la complementariedad (Khanchanapong et al., 2014 ; Sanders et al., 2016) que se percibe entre oferta tecnológica de la industria 4.0 y Lean management, además de los ensayos realizados para conocer si la industria 4.0 es capaz de implementar Lean. Ejecutar estos ensayos es una operación costosa y

con frecuencia se encuentra con cierto rechazo por parte de los fabricantes. No obstante, la bibliografía muestra que, a pesar de que las industrias de todo el mundo se esfuerzan por lograr fábricas Lean, no todas las organizaciones tienen éxito en implementarla ni logran los beneficios de manera óptima. Igualmente, no pueden garantizar el uso de las tecnologías más adecuadas a través de los sistemas integrados de información y comunicación, que, según Sanders et al., (2016) pueden hacer superar las deficiencias de las prácticas convencionales para mejorar la productividad y eliminar los desperdicios.

En contraste con el sistema de producción basado en pronósticos convencionales, la industria 4.0 permite la planificación en tiempo real de los planes de producción, junto con la auto-optimización dinámica. Aunque, por ejemplo, Toyota, incorpora las últimas tecnologías y algoritmos inteligentes, la fábrica se basa en el sistema de producción clásico de Toyota (Bauernhansl et al., 2014). La introducción de los sistemas de información y comunicación en la red industrial también conduce a un fuerte aumento en el grado de automatización. Las máquinas inteligentes y auto optimizadas en la línea de producción se sincronizan con toda la cadena de valor, desde el pedido o los materiales desde los proveedores hasta la entrega de productos a los clientes (Schlund, 2013; Sanders et al 2016). La simulación del inventario, la logística y el transporte, y el historial de uso de los productos también ayudan a influir positivamente en los procesos de producción (Wan, et al., 2015; Sanders et al 2016).

Esta influencia positiva es debida a la integración de las técnicas Lean con tecnología, que, en definitiva, es un campo de investigación importante que debe explorarse ampliamente. Aunque la afirmación de que la informatización y automatización podía reemplazar la mano de obra demostró ser inviable en un escenario práctico, dio origen al concepto de automatización Lean, donde se emplean para lograr una fabricación Lean (Sanders et al., 2016).

### **3.3.2. ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA FRENTE A LOS FACTORES *LEAN***

En los siguientes apartados, se analiza la manufactura Lean de los cuatro factores de agrupación lean según Shah y Ward (2007) y cómo se evalúan las tecnologías como facilitadores de estas dimensiones.

#### **3.3.2.1. Factores de proveedor**

Los proveedores muestran interés por el flujo de bienes e información entre los proveedores y el fabricante. Es necesario que todas las entidades de la cadena de suministro se sincronicen con los cambios en los procesos de negocios del fabricante.

##### **Comentarios del proveedor**

La tecnología proporciona las herramientas necesarias para lograr una retroalimentación inmediata y automática a los proveedores, para superar las burocracias y los canales de comunicación inadecuados. Los proveedores deben ser informados regularmente sobre el estado y la condición de los productos y servicios provistos. Esto allana el camino para la inmediata respuesta y acción adecuada en caso de cualquier discrepancia, ya que es la transferencia inadecuada de información entre fabricantes y proveedores es una fuente importante de desperdicio con respecto al proceso y al producto. Sin embargo, la diferencia en los modelos de negocios, las operaciones y las prácticas de mantenimiento de datos entre los fabricantes y los proveedores impide a los fabricantes comunicar fácilmente información con otros socios comerciales.

Los entornos de fabricación y desarrollo en colaboración en el contexto de la Industria 4.0 sirven adecuadamente a estos propósitos, especialmente para las PYME con recursos limitados. Los datos de los productos y los procesos de producción se comparten más allá de los límites de industrias individuales, lo que les permite estar altamente sincronizados (Brauner y Ziefle, 2015; Sanders et al., 2016, Hartmann et al.,



2018; Mao et al., 2018). Los mecanismos de comunicación tradicionales entre los socios en una empresa se renuevan a través de la informática en la nube y los servicios móvil.

### **Entrega justo a tiempo por los proveedores**

El *Just in time* popularizado a través del sistema de producción de Toyota exige un nivel de inventario de valor cero. Solo el número requerido de productos debe llegar al fabricante en el momento adecuado, sin la necesidad de almacenarlos antes de utilizarlos. Pero en los sistemas logísticos actuales, esta entrega oportuna no siempre es posible debido a razones tales como el envío de mercancías incompletas y demás desajustes entre lo requerido y lo transportado, y los retrasos inesperados durante la transferencia de mercancías. *Internet of Things* (IoT) está equipado con diferentes dispositivos integrados para la comunicación, que gestionan la información sobre los bienes transportados, con identificación y rastreo individuales. Esto garantiza no solo la entrega oportuna de los artículos, sino también la optimización de las rutas de viaje y la confianza en la logística, gracias al conocimiento exacto de cuándo sus productos llegarán al cliente, lo que aumentará la credibilidad y agregará valor a los mismos (Bose y Pal, 2005; Caballero-Gil, et al., 2013 Wan et al., 2014; Weyer et al., 2015; Roy, 2018).

### **Desarrollo de proveedores**

Todos los socios en la cadena de suministro deben desarrollarse junto con el fabricante para crear un ecosistema Lean y poder mejorarlo continuamente. Si solo el fabricante se esfuerza por implementar la manufactura Lean y los proveedores siguen las prácticas operativas heredadas, podría crear una falta de coincidencia entre el flujo de material y de información, provocando efectos adversos. Los recursos y la experiencia inadecuados dificultan el crecimiento de los proveedores y, en consecuencia, de los fabricantes. En este entorno, el énfasis está claramente sobre la gestión de la información para el desarrollo de proveedores y para estar a la par con el fabricante (Tepeš et al., 2015).

Los problemas de compatibilidad de hardware y software entre proveedores y fabricantes también son un inconveniente importante para el desarrollo colaborativo. Los formatos de datos incompatibles entre dos proveedores de servicios diferentes que impiden el flujo continuo de información, aunque evitables, existen debido a razones de individualidad. Los institutos de estandarización global están estandarizando las interfaces entre los equipos, que admiten hardware y software específicos del proveedor. Muchos proveedores de soluciones de tecnología de automatización están dispuestos a estandarizar sus entidades individuales y protocolos de comunicación, cooperando así hacia el objetivo común de la Industria 4.0 (Weyer, Schmitt, Ohmer & Gorecky, 2015). Por lo tanto, a través de organizaciones virtuales e interfaces estandarizadas, los proveedores empoderados profesionalmente se sincronizan con los fabricantes.

### 3.3.2.2. Factor de cliente

Este factor se ocupa de satisfacer las necesidades del cliente e integrarlas con el proceso de negocio para lograr una gestión Lean.

#### **Involucrando al cliente**

Frente a la tendencia generalizada de ofrecer productos y soluciones directamente a los clientes, la participación de los clientes debe establecerse desde las etapas de desarrollo del producto. Los clientes son la vida de una empresa y, por lo tanto, su asociación debe ser considerada de gran importancia. Pero una vez que las especificaciones se establecen para la fabricación, los clientes cuentan con muy poca flexibilidad para modificarlas en una etapa posterior. A través de sistemas inteligentes en la fabricación, el inicio del período en el que los parámetros de fabricación se congelan, se puede alargar hasta el punto en que se incorporan parámetros inalterables en el producto. Esto se logra sin esfuerzo por la integración de diferentes sistemas, como el sistema de ejecución de fabricación, aplicaciones B2C, entre otros. Esto proporciona un sistema para que los clientes estén informados sobre la etapa de producción real y la

finalización prevista del pedido (Cannata et al., 2008). Ya no se puede encontrar, en los fabricantes, la vieja mentalidad de "vender y olvidar". Es por ello, que los modelos de negocio se están convirtiendo en proporcionar productos junto con servicios. Los servicios mejorados, como la actualización y la renovación, descubren nuevos clientes a la vez que aumentan las experiencias de los ya existentes (Ganiyusufoglu, 2013).

La industria 4.0 emplea técnicas para el análisis de clientes y áreas de investigación de mercado. Las herramientas de análisis tradicionales, como el despliegue de la función de calidad (QFD), tienen limitaciones en cuanto a la cantidad de requisitos de los clientes y su relación con los requisitos de diseño del producto, además del problema de adquirir las necesidades exactas de los clientes. Big Data facilita el cálculo complejo y el procesamiento de la relación entre las necesidades y las funciones para un gran volumen de datos (Li et al., 2015; Sanders et al., 2016). Con esto incluso los productos desarrollados y vendidos a los clientes se denominan inteligentes, lo que significa que están integrados con dispositivos que rastrean los datos de uso y se envían a fábricas inteligentes.

### **Producción Pull**

La demanda de producir debe surgir del cliente, según la cual se debe crear una orden de producción, de forma que las operaciones en una industria deben realizarse solo cuando hay demanda. Una producción *push* normal llevaría a un inventario adicional, productos no vendidos en la fábrica y, a su vez, a costos adicionales de fabricación, mantenimiento, etc. (Cuatrecasas, 2010; Monden, 2011; Womack y Jones, 2012). El seguimiento incorrecto de la cantidad de materiales suministrados a la línea de producción y las modificaciones en el cronograma después del suministro de materiales afectan gravemente al sistema de producción de tracción. Al utilizar las tecnologías de la información y la comunicación, un sistema *e-kanban* reconoce las bandejas faltantes y vacías automáticamente a través de sensores y desencadena la reposición.

### 3.3.2.3. Flujo continuo

El flujo de materias primas, productos semiacabados y acabados debe ser continuo de acuerdo con un flujo de valor determinado. Como un concepto importante de la filosofía de fabricación *Just in time*, los materiales deben llegar solo en el momento de la fabricación y no deben mantenerse en espera durante largos períodos ni almacenarse como inventario. Cada proceso debe agregar valor y generar un flujo de operaciones optimizado. En muchos casos, se produce una interrupción en el flujo debido a errores en el recuento del inventario, falta de capacidad y sistemas de control centralizados que llevan a retrasos en la toma de decisiones.

Existen tecnologías, como la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) que, desde su aparición en la década de los sesenta, se ha convertido en una de las técnicas más usadas en para el control de calidad, autenticidad y trazabilidad de productos y procesos de la industria agroalimentaria debido a la combinación de rapidez, exactitud y simplicidad de uso. Además de éstas, la tecnología NIRS presenta otras ventajas como son la velocidad en el análisis; la escasa o nula preparación de la muestra; el permitir el análisis de muestras muy diversas (multiproducto) y, al mismo tiempo, proporcionar resultados de múltiples analitos (multiatributo); la no destrucción de la muestra analizada, por lo que puede ser utilizada de nuevo en posteriores análisis; la no utilización de reactivos, por lo que no produce residuos que deban ser eliminados, siendo de esta manera respetuosa con el medio ambiente; la simplicidad en el uso, no se necesita un entrenamiento específico para su uso y la posibilidad de incorporación a nivel del proceso productivo (Shenk y Westerhaus, 1995; Garrido et al., 2000).

Asimismo, en los últimos años, el desarrollo instrumental de los sensores NIR ha experimentado una importante revolución dirigida fundamentalmente al desarrollo de sensores más pequeños, portátiles, de señal más estable, de coste reducido, aptos para su uso directamente en el campo, en la planta de procesado, en el lugar de expedición o en el supermercado, cubriendo así la posibilidad de dar respuesta en la cadena

agroalimentaria completa. Además, la posibilidad de combinar la señal espectral con otras tecnologías de la información y la comunicación (TICs), abre enormes expectativas en la aplicación y posibilidades de los sensores NIR, como herramientas que posibiliten mejorar la inspección de alimentos, dar una información más amplia y precisa al consumidor, y servir como garantía o etiqueta de calidad de los productos alimentarios, en general.

Las soluciones que emplean la tecnología RFID ayudan a eliminar los errores asociados con el inventario mediante el seguimiento exacto y en tiempo real del mismo. Un estado de inventario sin errores ayuda a mantener un bajo nivel de inventario y pedidos oportunos de productos (Chen et al., 2013; Raki, 2014; Sanders et al., 2016). Las empresas en red de la era moderna también facilitan la subcontratación, por lo que reciben recursos y asistencia cuando es necesario, lo que ayuda a gestionar la escasez de capacidad. La programación integrada y la planificación de la producción es posible entre las industrias subcontratadas. Por ejemplo, un fabricante puede rastrear la capacidad y el progreso de los pedidos de un proveedor y ajustar su producción, en consecuencia, en caso de retrasos (Sanders et al., 2016).

Otro apoyo que presta la tecnología a la implantación de sistemas de gestión lean, se encuentra en el uso del Internet of Things. Wan et al. (2014) propusieron un método de distribución de material utilizando Internet of Things en un entorno de producción JIT para un taller de ensamblaje. Para lograrlo, se construyó un modelo matemático para la distribución de material basado en el diseño de producción y la información del material en cada estación, con lo que fue posible desarrollar un algoritmo de optimización inteligente, resultando en un plan de distribución de material optimizado, que elimina la interrupción a lo largo del proceso.

### **SMED**

Fabricar múltiples formatos con el menor tiempo de cambio siempre ha sido un desafío. La fabricación moderna está avanzando hacia la personalización masiva y no

puede permitirse un alto tiempo de configuración entre variantes. Las adaptaciones del proceso son generalmente hechas por humanos basados en el conocimiento previo. Con las tecnologías de la Industria 4.0, los sistemas plug and play están equipados con un comportamiento de auto-optimización y aprendizaje automático, lo que permite a las empresas adaptar las máquinas de acuerdo con los productos y producir pequeños lotes. Para agilizar y permitir la mutua identificación, las partes o piezas van identificadas a través de etiquetas RFID. Cuando la pieza llega a su máquina respectiva, se comunica directamente con la máquina a través de receptores RFID. Esto resulta en un cambio más rápido de los parámetros de la máquina de acuerdo con las instrucciones (Khanchanapong et al., 2014; Sanders, 2016).

#### 3.3.2.4. Control y factores humanos

Los factores responsables del control de calidad y equipo junto con el entorno de trabajo se consideran en esta categoría.

##### **Mantenimiento Total Productivo / Preventivo**

Los fallos de las máquinas durante la producción conducen a efectos adversos en el programa de producción, así como en la moral de los empleados. Las empresas realizan esfuerzos a través de programas de mantenimiento preventivo y periódico, pero los fallos de las máquinas no siempre están bajo control. La producción se interrumpe en caso de avería de la máquina y, a menudo, se gasta un tiempo considerable para encontrar la causa raíz y resolver los problemas. En una fábrica inteligente con máquinas interconectadas con sistemas de información y comunicación, cuando una máquina se descompone, envía notificaciones de error a los respectivos talleres y al personal de mantenimiento.

Con análisis más avanzados y un entorno de big data, las máquinas están equipadas para ser conscientes de sí mismas y auto-mantenidas. Tales máquinas evalúan su propio estado y degradación y utilizan datos de otras máquinas para evitar

posibles problemas de mantenimiento (Lee et al., 2014, Sanders et al., 2016). Debe desarrollarse la capacidad de anticipar un posible desglose e identificar la causa raíz en los sistemas de control. Por ejemplo, los sistemas de planificación de recursos empresariales han incluido marcos integrales para el mantenimiento predictivo, integrando datos de máquina, datos de ERP, datos sensoriales y algoritmos predictivos (Sanders et al., 2016). Por lo tanto, la comunicación entre la máquina y el trabajador, la evaluación de auto mantenimiento y el sistema de control de mantenimiento predictivo mejoran notablemente el Mantenimiento productivo total y preventivo en la fábrica, evitando así desperdicios.

### **Control Estadístico del Proceso**

La calidad de los productos es de primordial importancia en cualquier industria manufacturera. Los procesos deben estar siempre bajo control y se han desarrollado varias técnicas en el campo de la gestión de la calidad para evaluar los procesos. Sin embargo, la reducción de la vida útil del producto, la disminución del tiempo de desarrollo, los precios competitivos y el aumento de la complejidad del producto empujan el control del proceso a un alto riesgo. La ignorancia de los operadores, la realización de una operación y la incapacidad de seguir el protocolo para detectar variaciones, contribuyen significativamente a los defectos de calidad en los productos.

En el escenario actual, RFID permite la detección automática de variaciones en el proceso al leer la información respectiva almacenada en etiquetas RFID, y el IoT asiste en la integración de diferentes procesos de valor agregado combinando información y datos de diferentes máquinas (Khanchanapong et al., 2014), lo que permite atajar con mayor eficacia los defectos y generar menores desperdicios. El análisis avanzado combina inteligencia empresarial con gestión del flujo del proceso, a través del procesamiento de los datos por ordenador. Estas tecnologías en conjunto dan un marco para apoyar a la implantación del análisis Six Sigma, por sus características de trazabilidad, visibilidad, memoria y localización (Nicoletti, 2013).

### **Participación de los trabajadores**

*Lean manufacturing* hace hincapié en gran medida en el empoderamiento de los trabajadores. Los trabajadores son responsables de crear productos y servicios, por lo tanto, se les debe dar la información adecuada, tener flexibilidad y reconocer la importancia sus ideas y sugerencias. La asignación incorrecta de los empleados a diferentes tareas, la evaluación inadecuada del desempeño y la capacitación, y el trabajo monótono contribuyen significativamente a la mala moral en el entorno laboral (Sanders et al., 2016). En muchos casos, a los trabajadores también les resulta difícil retratar sus sugerencias y comentarios por los canales tradicionales. En el entorno laboral de la Industria 4.0, los trabajadores de producción proporcionan información inmediata sobre las condiciones de producción a través de datos en tiempo real a través de teléfonos inteligentes y tabletas (Schuh, et al., 2013; Sanders et al., 2016), facilitando el flujo de la información y tomando acciones que den respuesta a sus demandas.

El proceso de asignación de empleados para diferentes operaciones según su disponibilidad es asistido por CPS (Sistemas Ciber-Físicos), haciendo uso de las redes sociales independientemente de la disponibilidad espacial y temporal del tomador de decisiones. El administrador puede verificar la disponibilidad y asignar a los trabajadores a diferentes operaciones a través de los dispositivos inteligentes (Sanders et al., 2016). Esto facilita los esfuerzos del gerente para coordinar y mantener la fuerza laboral. La evaluación de los trabajadores en términos de velocidad, precisión, rendimiento y factores motivacionales también se simplifica a través de sistemas especializados de apoyo al trabajador. Estos sistemas contribuyen a desarrollar mejor la interfaz o procesos de formación especializada para empleados (Brauner y Ziefle, 2015; Sanders et al., 2016).

Los dispositivos inteligentes adquieren datos en tiempo real, ejecutan tareas rutinarias de forma autónoma. Con la adquisición de esta información y la interfaz hombre-máquina mejorada eliminan en los trabajadores las tareas rutinarias y ayudan a concentrarse en tareas de trabajo y aprendizaje diversificadas. Las actividades



monótonas y no especializadas se automatizan, lo que conduce a un cambio en la naturaleza del trabajo, es decir, los trabajadores están capacitados para trabajar en calibración, procesamiento de datos y otras tareas no repetitivas, además de funcionar como un factor motivador de los trabajadores (Schuh et al., 2015).



# **CAPÍTULO 4. ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA *LEAN MANAGEMENT* EN EMPRESAS AGROALIMENTARIAS DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA**

## **4.1. INTRODUCCIÓN**

Los estudios acerca de aplicaciones *lean* muestran que la metodología tiene varios impactos favorables sobre las variables de las operaciones industriales, tales como la productividad, la calidad, la entrega y la satisfacción del cliente y el empleado (Mann y Kehoe, 1994; Abdulmalek y Rajgopal, 2007). Sin embargo, es importante entender el contexto que rodea a la implantación de las técnicas *lean*.

La introducción de *lean management* en empresas que elaboran productos discretos, como Toyota, logró un éxito sustancial con respecto al coste, la calidad y la entrega (Spear y Bowen, 1999), lo que provocó que numerosas empresas de distintos sectores, tamaños y regiones geográficas imitaran el sistema *lean* de Toyota en búsqueda de la eficiencia y la productividad.

La mayoría de las publicaciones disponibles sobre gestión de operaciones muestran la aplicación de *lean management* en grandes organizaciones de fabricación de productos discretos (Moreno-Luzon, 1993); encontrándose muy pocas referencias que muestren aplicaciones de la metodología *lean* a las industrias de fabricación de productos continuos, como son las industrias agroalimentarias (Abdulmalek y Rajgopal, 2007).

Algunas de estas publicaciones analizan las ventajas e inconvenientes que ofrece la implantación de *lean management* en determinadas industrias de procesamiento de alimentos, dadas las características únicas de los productos y/o procesos que se utilizan como, por ejemplo, aquellas con maquinaria grande e inflexible, tiempos de preparación largos, tamaños de lote pequeños y complejidad de recursos (Van Donk y Van Dam, 1996; Abdulmalek et al., 2006).

A pesar de que distintos autores (Mahalik y Nambiar, 2010; Scott et al., 2009) proponen la implantación de *lean management* como un método adecuado para la industria de procesado de alimentos, existen otros autores que aseguran que la simple adopción de técnicas *lean* en estas industrias podría no conseguir la eficiencia deseada (Cox y Chicksand, 2005). Sánchez y Pérez (2004) indican que la aplicación de *lean* a la industria agroalimentaria ofrece resultados ineficaces; sin embargo, hay que resaltar que esta conclusión proviene de un estudio en el que se no consideraron empresas de alimentos en la muestra de análisis. Según Abdulmalek et al. (2006) y Jain y Lyons (2009) con pequeños ajustes, la gestión *lean* puede traer beneficios considerables a la industria de procesamiento de alimentos, tales como rendimientos más rápidos, inventarios reducidos y mayores ganancias.

Por otra parte, el desafío de la implementación de técnicas de *lean management* se multiplica cuando se trata de empresas con recursos limitados (Sánchez y Pérez, 2004; Achanga et al., 2006; Dora et al., 2014) como es el caso de

las pequeñas y medianas empresas (PYME). En este sentido, las grandes empresas presentan ventajas debido a la estructura organizativa, utilización de recursos, patrones de personal, cultura y patrocinio. Es por ello que, la adopción de la producción *lean* en un entorno de PYME, sigue siendo un tema debatido en el campo de la investigación de la gestión de las operaciones (Kumar et al., 2006; Anand y Kodali, 2008; Cocca y Alberti, 2010).

En este contexto, este capítulo tiene como objetivo comprender el grado de uso de las prácticas de fabricación *lean* de las empresas en el sector alimentario y los beneficios percibidos, así como, las posibles barreras de la fabricación *lean* en la empresa andaluza de alimentos. Además, este estudio explora los efectos de las variables de control como el tamaño de la planta (Bonadi y Marin, 2006) y la zona geográfica (Salk y Brannen, 2000; Ahmed y Schroeder, 2003).

## 4.2. METODOLOGÍA

En el presente estudio se ha adoptado el modelo conceptual holístico de la metodología *lean* propuesto por Shah y Ward (2007), basado en la adopción de un enfoque integral de varias etapas durante el proceso de desarrollo y validación, siendo las etapas el desarrollo de la encuesta, la selección de la muestra y un estudio piloto (prueba con empresas) con el análisis de datos correspondiente. La encuesta resultante, sometida a un proceso de validación, se ha utilizado para el desarrollo de este trabajo.

Dicho modelo conceptual holístico ha sido aplicado a distintas industrias de elaboración de productos agroalimentarios en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Para ello, se han analizado las prácticas tanto internas (proceso productivo) como externas (proveedores y clientes) de dichas industrias, incorporando 10 elementos considerados fundamentales en la producción bajo la

metodología *lean*: el nivel de compromiso con el cliente, la retroalimentación de los proveedores, la entrega “justo a tiempo” (*just in time - JIT*), el desarrollo o capacitación de proveedores, el sistema *pull*, el flujo, los cambios rápidos, los procesos controlados, el mantenimiento productivo y el compromiso de los trabajadores.

La encuesta ha sido llevada a cabo a través de un cuestionario estructurado para evaluar las prácticas de *lean management* en uso, los beneficios percibidos y las posibles barreras. Para asegurar la validez del instrumento encuesta, se han adoptado las preguntas ya validadas por investigaciones de reconocido prestigio en este ámbito, como son las aportaciones de Achanga et al. (2006), Shah y Ward (2007), Kumar y Antony (2008) y Dora et al. (2014).

El objetivo del trabajo de Achanga et al. (2006) fue presentar los factores críticos que constituyen una implementación exitosa de la manufactura *lean* en las industrias PYMES. En el estudio se realizaron visitas a diez PYMES del Reino Unido, observando y realizando una entrevista al personal clave involucrado en la implementación *lean*. Estos autores identificaron varios factores críticos que pueden determinar el éxito de la implementación de *lean*, destacando el liderazgo, la gestión, las finanzas, la cultura organizacional y las habilidades y experiencia, entre otros factores.

Por su parte Shah y Ward (2007) abordan la confusa serie de conceptos y esquemas de medición observados en la bibliografía, asociadas con la producción *lean*, desarrollando una medida operativa de producción ajustada y proporcionando un marco que identifica sus dimensiones más sobresalientes. En su investigación, desarrollaron y aplicaron la encuesta que posteriormente fue utilizada por Dora et al. (2014), con la finalidad de analizar el estado de las prácticas de manufactura *lean*, así como los beneficios y las barreras entre PYMES europeas (ubicadas en Bélgica, Alemania y Hungría) de procesamiento de

alimentos. Esta misma herramienta es la que se ha utilizado en el presente estudio para la caracterización de las empresas andaluzas.

Kumar y Antony (2008) evaluaron el estado actual de las iniciativas de calidad en las industrias PYMES en el Reino Unido, e informaron sobre las diferencias en las prácticas de gestión de la calidad de las PYMES, basándose también en el uso de una encuesta para comprender las prácticas de gestión de calidad establecidas por las mismas, logrando una tasa de respuesta del 12,7% de una muestra de 500 PYMES. Los resultados obtenidos por estos autores mostraron la existencia de diferencias significativas en el desempeño de las empresas *lean* con respecto a las empresas con certificaciones tradicionales de calidad.

Estas investigaciones sirvieron de base para facilitar la comprensión de la encuesta para este trabajo y para su aplicación en el entorno andaluz, de forma que se ha realizado una adaptación de los términos al vocabulario de uso frecuente en la región encuestada, ya que la terminología técnica utilizada en el entorno *lean* no resulta de fácil asociación con las prácticas a identificar. Anglicismos, abreviaciones y tecnicismos fueron reemplazados por su significado (*manufacturing*, *lead time*, *pull*, valor y SMED, entre otros).

El diseño de la encuesta se ha realizado buscando contestar a las siguientes preguntas, en el contexto de las empresas agroalimentarias andaluzas:

- PI1. ¿Cuál es el grado de utilización de las prácticas *lean* en empresas agroalimentarias andaluzas?
- PI2. ¿Existen diferencias significativas en el grado de implementación de las prácticas *lean*?
- PI3. ¿Cuáles son los beneficios percibidos de las prácticas *lean* en empresas agroalimentarias andaluzas?

- PI4. ¿Cuáles son las barreras potenciales de la implementación de las prácticas *lean* en empresas agroalimentarias de Andalucía?

El cuestionario consta de tres secciones dirigidas a temas estratégicos de la empresa, y para responder a los grupos de preguntas se solicita a las empresas que proporcionen una puntuación en una escala de preferencia de 1 a 7 (1= totalmente en desacuerdo a 7= totalmente de acuerdo), para evitar paridades y obtener respuestas más concretas con puntuaciones más definidas por parte de las empresas.

La primera sección, PI1, cubre el perfil de la empresa lo que permite obtener información sobre el ámbito de trabajo, el tamaño de la empresa y datos de la persona encuestada. Asimismo, se solicita a las empresas que indiquen su grado de acuerdo o desacuerdo con las respuestas relativas a la implementación de prácticas *lean* en su planta en una escala de preferencia de siete puntos.

La segunda sección, PI2, se refiere a la familiaridad y el uso de las prácticas *lean* de la industria, en cuanto a clientes, ritmo de producción, control del proceso, participación de los trabajadores y gestión del mantenimiento.

La tercera sección, PI3 y PI4, se utiliza para extraer información sobre los beneficios y las barreras potenciales de la aplicación de prácticas *lean*. Se analizan cuestiones como los beneficios percibidos por la implementación de prácticas de *lean manufacturing*, que incluyen factores tales como la reducción de la tasa de desperdicios, la reducción del *lead time* o tiempo de ciclo, la reducción del tiempo de entrega, el aumento de la productividad, la reducción de costes, el aumento de la rentabilidad, el incremento de las ventas, la reducción de quejas de los clientes y la reducción de quejas de los empleados (He y Hayya, 2002; Achanga et al., 2006; Dora et al., 2014). En el Anexo 1 se muestra la encuesta realizada a distintas empresas andaluzas.



#### **4.2.1. REALIZACIÓN DE LA ENCUESTA**

La encuesta se ha realizado de forma dirigida a 80 industrias pequeñas (menos de 50 trabajadores) del sector agroindustrial ubicadas en la Comunidad Autónoma de Andalucía y pertenecientes a los sectores cárnico, alimentación animal, lácteo, azucarero y oleícola. La encuesta fue elaborada en formato electrónico utilizando, para ello, la aplicación “Formularios Google” y se hizo llegar a las industrias encuestadas por medio de correo electrónico.

Para la obtención de la muestra representativa se han considerado, como factores, el tamaño de la industria, el tipo de industria y su ubicación geográfica.

Finalmente, para el cálculo de la tasa de participación (porcentaje respecto al total de industrias activas) se ha consultado el Registro de Industrias Agroalimentarias para conocer el total de empresas activas, habiendo en julio de 2014 un total de 5478 empresas activas (Registro de Industrias Agroalimentarias, 2014).

#### **4.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para analizar los resultados obtenidos se ha utilizado el software comercial Minitab 18, con el que se ha realizado un análisis estadístico tanto descriptivo como inferencial (prueba no paramétrica) de forma que se pudiera verificar la asociación entre las variables de control (tamaño de la empresa, zona de Andalucía), los beneficios percibidos de las prácticas *lean* en las industrias encuestadas y las preguntas de investigación mencionadas anteriormente, siguiendo lo propuesto por Dora et al. (2014).

Para responder a la primera pregunta se utilizan estadísticos descriptivos (media, desviación estándar y mediana) mientras que, para la segunda, se lleva a

cabo una prueba no paramétrica de Friedman para validar las diferencias observadas entre los diferentes elementos de las prácticas de fabricación *lean*. La prueba ayuda a evaluar la puntuación obtenida en cada variable y comprueba si la respuesta varía o es consistente entre las variables consideradas en la encuesta. La interpretación de los resultados de esta prueba se realizó mediante el análisis de las medianas ( $\chi^2$ : Chi cuadrada, GL: grados de libertad y p= valor p). Para la comparación de las medias del grado de uso de las diferentes prácticas *lean* se aplica la prueba de Wilcoxon, que compara la mediana de la población con una mediana hipotética para determinar si la diferencia entre la mediana de la población y la mediana hipotética es estadísticamente significativa. Como el estadístico de Wilcoxon es una prueba unilateral, es necesario aplicarlo por duplicado para conocer los factores significativos por debajo y por encima de la mediana hipotética. Y, finalmente, se aplica la prueba de Kruskal-Wallis, que permite conocer si las diferencias encontradas en el uso de las herramientas se encuentran por encima o por debajo de la mediana, relacionándolo con el tamaño y tipo de empresa.

Por último, se utiliza de nuevo estadística descriptiva en el análisis de la tercera y cuarta pregunta. No obstante, para validar su relación con el tamaño y tipo de empresa, se aplica un ANOVA de un solo factor.

## **4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.3.1. TASA DE PARTICIPACIÓN**

Se recibió un total de 10 respuestas por parte de las industrias encuestadas, a través de sus representantes, directores generales, directores de operaciones y/o de calidad, sobre el total de 80 industrias a las que se les envió la encuesta, implicando esto una tasa de participación del 12,5%. Este tamaño de

muestra, aun siendo insuficiente para poder sacar conclusiones generales para el sector agroindustrial andaluz, tiene la misma magnitud que la alcanzada por las encuestas realizadas por otros autores en el campo de gestión de la calidad. Así, Little y McKinna (2005) en un estudio que describe un enfoque de implementación *lean* basado en una herramienta de evaluación simple, diseñada para identificar las herramientas más adecuadas para el uso en una empresa específica, obtuvieron una participación del 12%. Por su parte, Kumar y Antony (2008), según lo descrito en el apartado 4.2, tuvieron una tasa de participación del 12,7%, así como la investigación realizada por Scott et al. (2009), quienes presentaron los resultados de una encuesta cuantitativa de programas estructurados de mejora continua en el sector alimentario canadiense, que incluía el análisis de factores motivacionales que resultaron influir en la decisión de una organización de implementar mejoras continuas, teniendo una tasa participación del 11%. Finalmente, en el trabajo publicado por Dora et al. (2014) tuvieron una tasa de participación del 15%.

De las 10 empresas que participaron en el estudio, 5 tienen sede en la provincia de Córdoba, 4 se sitúan en las provincias de Sevilla, Málaga, Cádiz y Granada y 1 se localiza en Madrid (a pesar de que la planta de producción se encuentra ubicada en Málaga, quién respondió a la encuesta fue el jefe de calidad cuyo departamento se encuentra en la sede que la empresa tiene en Madrid).

La baja tasa de respuesta por parte de las empresas ha resultado una limitación para este estudio, la cual podría explicarse por las características específicas del sector alimentario y el tamaño de las empresas. Asimismo, se detectaron otras limitaciones como el hecho de que el despliegue de las prácticas *lean* en las empresas agroalimentarias sea generalmente bajo, lo que implica que los potenciales encuestados (gerentes de las empresas) pueden no ser conscientes de los diferentes conceptos de la metodología *lean*.

El pequeño tamaño de muestra es uno de los obstáculos para aplicar una prueba estadística avanzada. Estudios similares sobre la gestión de empresas alimentarias utilizaron también estadísticas descriptivas debido al pequeño tamaño de la muestra, como lo es el estudio de Scott et al. (2009), que utilizaron un análisis de *cluster* para evaluar similitudes entre empresas de alimentos canadienses que utilizan programas de mejora continua, y también utilizaron el estadístico de Wilcoxon para evaluar los factores motivacionales que influyen en la implementación de la mejora continua. Por su parte Kumar y Antony (2008), realizaron una prueba estadística *t*, para identificar el valor medio y la práctica real de los factores críticos de éxito que son estadísticamente diferentes entre sí.

Se considera el presente estudio como una primera aproximación al diagnóstico del estado de las prácticas *lean* en empresas agroalimentarias andaluzas que servirá como punto de partida para una posterior profundización en la investigación sobre este tema.

#### **4.3.2. GRADO DE UTILIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS *LEAN* EN EMPRESAS AGROALIMENTARIAS ANDALUZAS**

La estadística descriptiva de las declaraciones sobre el uso de prácticas de *lean management* facilitadas por las empresas encuestada se presentan en la Tabla 4.1, la cual está dividida en 8 secciones que responden a los diferentes factores *lean* bajo estudio, con una serie de preguntas o cuestiones asociadas que han servido de guía para conocer el grado de uso de los diferentes principios *lean*.

En la Tabla 4.1 se muestran los estadísticos descriptivos de la encuesta realizada (media, mediana y desviación estándar), caracterizando así el conjunto de los datos. También se pueden observar los estadísticos no paramétricos para las pruebas aplicadas (Friedman, Wilcoxon y Kruskall-Wallis), en cuyo análisis se consideró, para todos los casos, un nivel de significación del 5%.

**Tabla 4.1.** Resultados del análisis descriptivo: Grado de uso de las practicas *lean*

Sección	Cuestión	Estadísticos descriptivos			Estadísticos no paramétricos		
		Media	Mediana	Desviación estándar	Wilcoxon Valor p ( $\eta > 4,5$ )	Wilcoxon Valor p ( $\eta < 4,5$ )	Kruskall- Wallis Valor p
Relativo al cliente	Se mantiene en contacto constante con sus clientes	5,500	5,416	1,179	0,021*	0,984	0,606
	Los clientes le transmiten satisfacción en cuanto a calidad y entrega	5,900	6,020	0,738	0,003*	0,998	0,909
	Realiza regularmente la encuesta de satisfacción	4,300	4,541	2,058	0,620*	0,419	0,101
Relativo a los proveedores	Posee contacto cercano con sus proveedores	5,700	5,604	1,418	0,021*	0,984	0,189
	Los proveedores estratégicos entregan en el tiempo exacto	5,600	5,437	0,966	0,007*	0,995	0,736
	Reduce activamente el número de proveedores de cada categoría	4,000	4,125	1,826	0,807	0,222	0,502
<i>Pull</i>	Usa el sistema de producción <i>pull</i>	4,800	5,020	1,687	0,154	0,869	0,157
	Usa sistema Kanban o contenedores con señales para el control de la producción.	3,700	3,880	1,767	0,899	0,121	0,631
	El producto en cada puesto es demandado por el siguiente puesto inmediato	5,300	5,310	0,949	0,021*	0,984	0,092

**Tabla 4.1.** Resultados del análisis descriptivo: Grado de uso de las practicas *lean* (continuación)

Sección	Cuestión	Estadísticos descriptivos			Estadísticos no paramétricos		
		Media	Mediana	Desviación estándar	Wilcoxon Valor p ( $\eta > 4,5$ )	Wilcoxon Valor p ( $\eta < 4,5$ )	Kruskall-Wallis Valor p
Flujo	Los productos son clasificados por familias o grupos con procesamientos similares	5,800	5,937	1,033	0,012*	0,990	0,576
	Los productos son clasificados con recorridos similares	6,100	6,020	0,316	0,003*	0,998	0,580
	Las familias de productos determinan el layout de la planta	6,200	6,187	0,632	0,003*	0,998	0,564
Cambios de formato	Está trabajando para disminuir los tiempos de preparación o arranque de línea	5,100	5,020	1,287	0,093	0,923	0,036*
	Controla el ciclo de tiempo de su producción para responder de forma rápida a los requerimientos del cliente	4,500	4,625	1,841	0,399	0,639	0,319
	Los trabajadores establecen prácticas que ayuden a reducir el tiempo	4,400	4,375	1,430	0,581	0,459	0,631
SPC (Control estadístico del proceso)	Los procesos en planta están bajo control estadístico de proceso	3,300	3,291	1,494	0,982	0,023*	0,236
	Se usan extensivamente las técnicas estadísticas para identificar la variación del proceso	3,100	3,229	1,912	0,967	0,042*	0,145
	Utiliza gráficos para mostrar las tasas de defecto de la planta.	3,300	3,313	2,111	0,937	0,077	0,278

**Tabla 4.1.** Resultados del análisis descriptivo: Grado de uso de las practicas *lean* (continuación)

Sección	Cuestión	Estadísticos descriptivos			Estadísticos no paramétricos		
		Media	Mediana	Desviación estándar	Wilcoxon Valor p ( $\eta > 4,5$ )	Wilcoxon Valor p ( $\eta < 4,5$ )	Kruskall- Wallis Valor p
Participación de los empleados	Los empleados de planta se someten a formación cruzada	4,500	4,604	1,780	0,439	0,601	0,375
	Los empleados de planta son fundamentales para la formación de los equipos de resolución de problemas	4,700	4,958	1,767	0,288	0,746	0,625
	Los empleados de planta lideran los esfuerzos de mejora de producto / proceso	4,400	4,354	1,430	0,658	0,380	0,912
Mantenimiento total o productivo	Tiene un plan de mantenimiento preventivo	4,600	4,937	2,413	0,459	0,581	0,912
	Dedica un tiempo todos los días para planificar equipo actividades de mantenimiento relacionadas	3,800	3,979	2,251	0,821	0,207	0,564
	Publica regularmente registros del mantenimiento de equipos en la planta	3,200	3,313	1,874	0,963	0,046*	0,286
	General	4,660	4,729				

(\*) Valores que presentan diferencias estadísticamente significativas.

$\eta$ : Mediana hipotética

En la Tabla 4.1 se observa que las prácticas *lean* más utilizadas, dados los valores de media, mediana y desviación estándar, son las relacionadas con el flujo, los clientes, los proveedores, seguidos por las prácticas relacionadas con los cambios de formato, el *pull* y la participación de los trabajadores. Por otro lado, poseen un menor grado de uso las prácticas *lean* relacionadas con el control estadístico, el TPM (mantenimiento productivo total) y la participación de los empleados. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Dora et al. (2014) en el que las empresas europeas de alimentos obtienen una puntuación global relativamente alta (puntuación media 4,835) sobre el uso de prácticas *lean*, similar a la media de uso entre las empresas encuestadas (puntuación media 4,660), aunque se aprecien diferencias en el nivel de uso entre las diversas prácticas.

Estos resultados coinciden con investigaciones previas (Dora et al., 2014; Khusaini et al., 2016; Dora et al., 2016) en las que se muestra que el uso de algunas prácticas de *lean manufacturing*, son de uso más frecuente que otras en empresas agroalimentarias (contacto constante con sus clientes, los clientes le transmiten satisfacción en cuanto a calidad y entrega, realiza regularmente la encuesta de satisfacción, posee contacto cercano con sus proveedores, los proveedores estratégicos entregan en el tiempo exacto, el producto en cada puesto es demandado por el siguiente puesto inmediato, los productos son clasificados por familias o grupos con procesamientos similares, los productos son clasificados con recorridos similares, las familias de productos determinan el *layout* de la planta). Por el contrario, las prácticas de *lean* relacionadas con el control estadístico, como el control estadístico de procesos en planta, el uso técnicas estadísticas para identificar la variación del proceso, uso de gráficos para mostrar las tasas de defectos al personal, entre otras, son más difíciles de implementar por las empresas agroalimentarias. La disponibilidad de recursos y la falta de formación son las principales barreras encontradas en la implementación de las prácticas *lean*.



El nivel de dificultad para implementar células de fabricación para un diseño óptimo del proceso en industrias de alimentos también es alto, ya que la mayoría de ellas tienen un proceso producción tradicional. Una célula de fabricación es el nombre que recibe la disposición de los puestos de trabajo en una línea de producción, que permite aprovechar al máximo los movimientos del trabajador. Cualquier cambio en el diseño de planta para conseguir esas células de fabricación en las industrias agroalimentarias encuestadas, generaría cambios importantes en la estructura de la misma, por lo que requeriría de grandes inversiones que, este tipo de empresas, difícilmente pueden afrontar.

Los resultados de la prueba no paramétrica de Friedman, que se llevó a cabo para validar las diferencias observadas entre los elementos de las prácticas de fabricación *lean*, confirman que la variabilidad observada en las medianas ( $m$ ) (Tabla 4.1), presentan diferencias significativas entre el nivel de uso de las diversas prácticas *lean* ( $\chi^2= 66,85$ ,  $GL= 23$ ,  $p= 0$ ). Las medianas de las respuestas para las afirmaciones “Los productos son clasificados por familias o grupos con procesamientos similares” ( $m = 5,94$ ), “Los productos son clasificados con recorridos similares” ( $m = 6,02$ ), “Las familias de productos determinan el *layout* de la planta” ( $m = 6,190$ ) y “Los clientes le transmiten la satisfacción en cuanto a calidad y entrega” ( $m = 6,02$ ) son significativamente mayores que la mediana general ( $m = 4,72$ ). Estos resultados indican que los elementos relacionados con el flujo son altamente utilizados por las empresas agroalimentarias, así como las prácticas relacionadas con la satisfacción del cliente.

Además, se realizó la prueba de Wilcoxon para comparar el grado de uso de diferentes prácticas *lean*. En este caso, el resultado muestra que las prácticas de fabricación relacionadas con el Control estadístico del proceso (“Los procesos en planta están bajo control estadístico de proceso”  $p = 0,023$ ; “Se usan extensivamente las técnicas estadísticas para identificar la variación del proceso”  $p = 0,042$ ) y el Mantenimiento total productivo (“Publica regularmente registros

del mantenimiento de equipos en la planta”  $p = 0,046$ ), son significativamente menos utilizadas que el resto. Por su parte, son significativamente más utilizadas que el resto las categorías Relativo al cliente (“Se mantiene en contacto constante con sus clientes”  $p = 0,021$ ; “Los clientes le transmiten satisfacción en cuanto a calidad y entrega”  $p = 0,003$ ); Relativo a los proveedores (“Posee contacto cercano con sus proveedores”  $p = 0,021$ ; “Los proveedores estratégicos entregan en el tiempo exacto”  $p = 0,007$ ), *Pull* (“El producto en cada puesto es demandado por el siguiente puesto inmediato”  $p = 0,021$ ); y al Flujo (“Los productos son clasificados por familias o grupos con procesamientos similares”  $p = 0,012$ ; “Los productos son clasificados con recorridos similares”  $p = 0,003$ ; “Las familias de productos determinan el *layout* o distribución de la planta”  $p = 0,003$ ).

Esta prueba confirma que las prácticas más usadas por las empresas agroalimentarias encuestadas son las relacionadas con el flujo, la comunicación con el cliente y las relaciones con los proveedores. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Dora et al. (2014), respecto a todas las categorías excepto en lo relativo a las categorías de flujo y mantenimiento total productivo, siendo la primera una de las más usadas, mientras la segunda es una de las menos utilizadas, en este caso.

Es comprensible que, debido a las características inherentes al sector alimentario, algunas prácticas de fabricación sean difíciles de implementar para las PYMES de procesamiento de alimentos. La reducción de los tiempos de cambio, los ajustes de línea, las células de trabajo ágiles y la disminución del *Takt time*, son también prácticas *lean* poco utilizadas en las empresas agroalimentarias debido a los complicados procesos de producción, la diversidad de materias primas y recetas, y a los ciclos condicionados por limpiezas.

Como se aprecia en la Tabla 4.1, en la columna de medias, las prácticas *lean* “mantenimiento productivo total (TPM)” y “participación de los clientes” suelen

ser ampliamente utilizadas en comparación con otras prácticas *lean*. Los resultados sobre el uso del mantenimiento productivo total por parte de las PYMES en este estudio difieren de lo publicado en la bibliografía existente, ya que se ha obtenido que la adopción de TPM no es usual en las empresas agroalimentarias andaluzas (Ahmed et al., 2004).

Además de la extensión del uso de las prácticas de fabricación *lean*, este estudio también llevó a cabo análisis estadísticos inferenciales para verificar la asociación entre las variables de control (tamaño de la empresa y tipo de empresa) y el uso de prácticas de *lean* en las industrias agroalimentarias en Andalucía (Tabla 4.2), con base en las afirmaciones de estudios anteriores acerca de la implementación de prácticas *lean* en mayor proporción en las empresas más grandes que en las pequeñas (Hobbs, 2004; Dora et al., 2014).

**Tabla 4.2.** Análisis de varianza para las variables tamaño y tipo de empresa

Fuente	GL	R-cuad.	Desviación estándar	Valor p
Tamaño de la empresa	2	6,82%	1,73	0 *
Tipo de empresa	4	41,07%	0,86	0,54

GL: grados de libertad del modelo; R-cuad.: linealidad con el modelo; Valor p: probabilidad

Al evaluar los resultados que se muestran en la Tabla 4.2 del análisis ANOVA, éstos difieren de la literatura ya que se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en el uso de prácticas de manufactura *lean* entre las pequeñas, medianas y grandes empresas ( $R^2= 6,82$ ,  $GL= 2$ ,  $p= 0$ ) a un nivel de significación del 5%. Sin embargo, con relación al tipo de empresa y uso de prácticas *lean*, los datos mostrados en la Tabla 4.2 no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $R^2= 41$ ,  $GL= 4$ ,  $p= 0,54$ ).

El resultado de la prueba Kruskal-Wallis (Tabla 4.1) muestra que hay diferencias significativas entre los diferentes tamaños de empresas para procurar

disminuir los tiempos de preparación o arranque de línea ( $p < 0,05$ ). Se encontró que las grandes empresas se esfuerzan más que las pequeñas y medianas por disminuir los tiempos de preparación o arranque de línea (presentando medianas de 6, 5 y 4, respectivamente).

### 4.3.3. BENEFICIOS PERCIBIDOS DE LAS PRÁCTICAS *LEAN* EN EMPRESAS

#### AGROALIMENTARIAS

En la Tabla 4.3 se presentan los estadísticos descriptivos de los beneficios de la implantación de las prácticas *lean* en empresas agroalimentarias andaluzas. Los resultados muestran que los beneficios más destacados son: la reducción de las quejas de los clientes, el aumento de la productividad y la reducción de desperdicios con una valoración media por parte de los encuestados de 5; 4,75 y 4,33 respectivamente, en una escala de uno a siete.

**Tabla 4.3.** Resultados sobre los beneficios y barreras informados

Beneficios	Media (x)	Desviación estándar (s)	Barreras	Media (x)	Desviación estándar (s)
Reducción de quejas de clientes	5	3	Disponibilidad de recursos	6,25	2,12
Incremento productividad	4,75	3,11	Falta de formación	4,33	3,16
Reducción de desperdicios	4,33	3,16	Resistencia al cambio	3,4	3,1
Reducción tiempo de ciclo de fabricación	3	3	Tamaño pequeño y poca tecnificación	3,4	3,1
Reducción de costes de producción	3	3	Falta de compromiso de la gerencia	2,8	2,9
Mejora en la calidad del producto	3,67	3,16	Técnicas de control de proceso inadecuadas	2,8	2,9

**Tabla 4.3.** Resultados sobre los beneficios y barreras informados (continuación)

Beneficios	Media (x)	Desviación estándar (s)	Barreras	Media (x)	Desviación estándar (s)
Mejora en la calidad del producto	3,67	3,16	Técnicas de control de proceso inadecuadas	2,8	2,9
Aumento de la rentabilidad	2,33	2,65	Pobre participación de los trabajadores	2,8	2,9
Reducción tiempos de entrega	1,67	2	Producto altamente perecedero	2,8	2,9
Reducción de quejas de trabajadores	1,67	2	Ritmo de producción dependiente del momento de limpieza	2,8	2,9
			Falta de entrenamiento	2,2	2,53
			Pobre participación de proveedores	2,2	2,53
			Poca delegación de autoridad	2,2	2,53
			Mala selección de proyectos	1,6	1,9
			Falta de conocimiento	1,6	1,9
			Separación física de las áreas de elaboración y envasado	1,6	1,9
			Calidad del producto final	1,6	1,9

Para analizar los datos recogidos acerca de los beneficios y las barreras al uso de herramientas *lean* por las empresas encuestadas en función del tamaño de la empresa, se aplicó un análisis inferencial (ANOVA) cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4.** Resultados del análisis de varianza de los beneficios y barreras del uso de *lean* en función del tamaño de la empresa.

	GL	SC. Ajust.	Valor F	R-cuadr.	Desviación estándar (s)	Valor p
Beneficios/Tamaño de la empresa	2	6,85	2,54	42,07%	1,16	0,15
Barreras/Tamaño de la empresa	2	1,35	0,53	13,19%	1,12	0,61

Los resultados mostrados en la Tabla 4.4 indican que no existen diferencias estadísticamente significativas de las ventajas de las prácticas *lean* entre las pequeñas, medianas y grandes empresas ( $R^2=42,07$ ,  $GL= 2$ ,  $p= 0,148$ ) a un nivel de significación del 5% con relación a los beneficios.

La bibliografía proporciona, sin embargo, evidencias que sugieren múltiples beneficios de la implementación de prácticas *lean*, como son reducción de costos, aumento en la rentabilidad o mayor satisfacción del cliente con respecto a calidad y entrega (Bhasin, 2008). El resultado del presente estudio también muestra que las empresas agroalimentarias se benefician de implementar prácticas *lean*, particularmente en lo que respecta a reducción quejas de clientes, incremento de la productividad y reducción desperdicios, como se ha comentado anteriormente. Sin embargo, las empresas agroalimentarias andaluzas aún se benefician de forma parcial, ya que la aplicación de las herramientas se encuentra en etapas poco avanzadas de adopción.

Uno de los objetivos importantes de esta investigación era identificar las barreras claves para la implementación de la fabricación *lean* en PYMES de alimentos. Las barreras para el uso de *lean* se enumeraron a partir de la bibliografía de gestión de operaciones y las características específicas relacionadas con la industria de procesamiento de alimentos (Achanga et al., 2006; VanWezel et al., 2006; Radnor y Walley, 2008; Dora et al., 2014).

En la Tabla 4.3 se muestran además las estadísticas descriptivas de las barreras a la implementación de fabricación *lean*. Los resultados muestran que las principales barreras a la implementación de prácticas de manufactura *lean* en Andalucía son: disponibilidad de recursos, falta de formación, resistencia al cambio, tamaño pequeño y poca tecnificación. Algunas de las barreras potentes indicadas por los encuestados, caracterizan en sí a la industria agroalimentaria andaluza, por ejemplo, el tamaño pequeño y la poca tecnificación, producto altamente perecedero y ritmo de producción dependiente del momento de limpieza.

Del estudio inferencial (ANOVA), cuyos resultados se encuentran en la Tabla 4.4 se obtiene que no hay diferencias estadísticamente significativas en las barreras a la implantación de las prácticas de manufactura *lean* entre las pequeñas, medianas y grandes empresas estudiadas ( $R^2= 42,07\%$ ,  $GL= 2$ ,  $p= 0,15$ ) con un nivel de significación del 5%. Esto implica que las barreras encontradas no se ven condicionadas por la dimensión de la empresa.

#### **4.4. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO**

Las conclusiones a las que se llegan una vez analizados todos los datos de las encuestas realizadas a las distintas industrias agroalimentarias son las siguientes:

1. La aplicabilidad y los resultados de la manufactura *lean* en la industria procesadora de alimentos sigue siendo un tema discutible en el que la academia mantiene diferentes hipótesis.
2. La mayoría de los estudios disponibles son casos de estudio, pocos se basan en encuestas empíricas, debido a que la tasa de respuesta es limitada por parte de las empresas agroalimentarias (11% en este estudio). Esto para la

naturaleza de la encuesta es aceptable, pero es escasa información para profundizar en el conocimiento científico.

3. El grado de utilización de las prácticas *lean* en empresas agroalimentarias andaluzas es bajo.
  
4. En Andalucía se observan diferencias significativas en el mayor grado de implementación de las prácticas de *lean management* relativas a clientes, proveedores y flujo. La aplicabilidad de dichas herramientas en las empresas, relacionadas principalmente con procesos medulares de la industria de alimentos, dejan de a un lado todas aquellas herramientas técnicas restantes que se enfocan en los principios holísticos de fabricación.



## **CAPÍTULO 5. COMBINACIÓN DE LA METODOLOGÍA *LEAN* CON OTRAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA MEJORA CONTINUA DE PROCESOS**

### **5.1. APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA *LEAN* EN UN MATADERO DE VACUNO**

#### **5.1.1. INTRODUCCIÓN**

Como respuesta a la crisis económica, las empresas han desarrollado e implantado métodos de gestión de procesos basados en la mejora continua y en la producción ajustada. Dichas técnicas han sido muy extendidas en los diversos sectores productivos a nivel mundial, incluido el sector alimentario. A pesar de que estudios aplicados a empresas agroalimentarias Europeas, sostienen que la implementación de las prácticas *lean* en la producción de alimentos se encuentra en su fase inicial, distintas experiencias de implementación de la metodología *lean* demuestran que es aplicable a entornos diferentes para el que fue concebido (Mahalik y Nambiar, 2010; Tanco et al., 2013; Dora et al., 2014) y que se obtiene una mejora en las operaciones (Dora et al., 2013).

La competencia a nivel mundial ha intensificado la presión sobre las industrias de elaboración de alimentos para mejorar la eficacia de sus procesos a lo largo de múltiples dimensiones, como la calidad del producto, el tiempo de entrega, la flexibilidad y los costes, existiendo diferentes estudios en los que tratan de identificar los diversos recursos que pueden utilizarse para ayudar a las empresas a sobresalir (Abdulmalek *et al.*, 2006; Kristensen *et al.*, 2014). Así, Kristensen *et al.* (2014) indican que los recursos de fabricación se pueden agrupar en dos categorías principales: las tecnologías de fabricación y las prácticas *lean*. Las tecnologías de fabricación se refieren a ciertos tipos de tecnologías tales como *hardware* y programas informáticos, incluyendo diseño, ingeniería asistida, fabricación computerizada, control informático de producción, máquinas, robots y sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP). Por otra parte, las prácticas *lean* se refieren a las técnicas de fabricación y *know-how* como, por ejemplo, la gestión de calidad total (TQM) y la fabricación justo a tiempo (*just in time*, JIT) (Khanchanapong *et al.*, 2014).

La combinación de las herramientas de gestión en la industria de la carne y las tecnologías para el seguimiento del proceso tienen el potencial de transformar completamente los mataderos tal como los conocemos hoy en día, ya que crean un canal para que las demandas de los clientes se integren en todas las operaciones, pudiendo llegar a producir productos adaptados a las especificaciones del cliente. Un buen nivel de automatización y los sensores interconectados proporcionan información etapa a etapa que se puede recopilar para obtener datos en el propio momento del proceso.

Esto facilita una mayor integración en la cadena de valor, lo que abre posibilidades nuevas en la industria cárnica (Kristensen *et al.*, 2014). Si se utiliza la información recogida a lo largo del proceso, utilizando tecnología, para sustentar las decisiones de mejora para el proceso, la implantación de sistemas *lean* se pueden ver potenciados pasando de lo subjetivo a lo objetivo.

Es por ello que el objetivo de este capítulo fue la optimización del proceso mediante el empleo ordenado y sistemático de un conjunto de herramientas

tecnológicas que permitan la caracterización del proceso y el diseño de los cambios necesarios para su mejora. Para ello, por una parte, se analizarán los posibles fallos del proceso abordándolos de forma sistemática y objetiva a través del uso de técnicas de gestión, y por otra, la recogida de datos con herramientas tecnológicas para mejorar la calidad de la carne de vacuno.

## **5.1.2. METODOLOGÍA**

### **5.1.2.1. Obtención y clasificación de las reclamaciones recibidas relativas a calidad de la carne**

Se llevó a cabo un estudio en un matadero de ganado vacuno de Andalucía, concretamente, en los sacrificios realizados entre los meses de enero a julio en el año 2016. Estos datos se extrajeron del registro implantado por la organización donde fue posible encontrar información referente a la fecha de recepción de la reclamación, el cliente que la interpuso y el tipo de producto que presentó defectos de calidad (organoléptico, objetos extraños, parámetros fuera rango, producto fuera de especificaciones y otros). El número total de reclamaciones recibidas durante el período de estudio fue de 47, considerando como reclamación todas aquellas que estuviesen relacionadas únicamente con la categoría organoléptico (que agrupa lo relacionado con carne oscura, exceso de grasa, carne dura o carne blanda), dejando fuera las reclamaciones presentadas por objetos extraños, parámetros fuera de rango, etc.

Se clasificaron las reclamaciones recibidas y registradas en el portal de reclamaciones de clientes de la categoría organoléptico que pudieran deberse a fallos en la calidad de carne. Así, se extrajo un total de 11 reclamaciones repartidas a lo largo de siete meses del año 2016, sin excluir ninguna categoría de cliente, ni tipo de producto sobre el cual fue hecha la reclamación.

### 5.1.2.2. Herramientas de mejora continua

Una vez recogidas las reclamaciones por causas organolépticas durante el periodo anteriormente señalado, se procedió a realizar el análisis de los posibles factores que podían estar generando los problemas expuestos en las mismas. Para ello, se constituyó un grupo de trabajo multidisciplinar formado por 6 personas y constituido por personal de dirección y de las áreas de calidad, producción, mantenimiento e investigación y desarrollo. Asimismo, se contó con participaciones puntuales de personal del departamento financiero y del proveedor principal de la materia prima.

Una vez clasificados los factores, se procedió a realizar una dinámica de generación de ideas (*brainstorming*) según el análisis realizado desde la perspectiva de cada área, con el fin de consensuar las posibles causas que habían generado los fallos informados.

Para la tormenta de ideas se siguió la metodología propuesta por Gutiérrez y De la Vara (2004):

- i. Definir con claridad y precisión el tema o problema sobre el que se deben aportar ideas. Esto permitirá que el resto de la sesión sólo esté enfocada a ese punto y no se dé pie a la divagación en otros temas;
- ii. Cada participante en la sesión debe hacer una lista por escrito de ideas sobre el tema y/o una lista de posibles causas si se analiza un problema. La razón de que esta lista sea por escrito es que así todos los miembros del grupo participan y se logra concentrar más la atención de los participantes en el objetivo final;
- iii. Agrupar las causas por su similitud y representarlas en un diagrama de Ishikawa, considerando que para cada grupo corresponderá una rama principal del diagrama, a la cual se le asigna un título representativo del tipo de causas en tal grupo.

Para organizar la información recopilada se procedió a incluir cada una de las causas en un diagrama de Ishikawa. Para la realización del diagrama de Ishikawa, se

utilizó una forma abreviada del método que considera 4 de las 6 M's (métodos, mano de obra, materiales y maquinaria, dejando a un lado la medición y medio ambiente), ya que se ajusta más a la actividad productiva y concentra la fuente de posibles causas.

Posteriormente, y teniendo en consideración el número de veces que se repetía una misma causa, para priorizar cada una de las posibles causas que habían generado los fallos de calidad, se procedió a construir un diagrama de Pareto. El campo de análisis o aplicación de esta herramienta son los datos categóricos de los posibles fallos en el proceso de producción del matadero, que pueden generar la no calidad de la carne, y tiene como objetivo ayudar a localizar el o los problemas y sus principales causas, permitiendo aplicar a continuación la regla "Ley 80-20" o "Pocos vitales, muchos triviales", en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

Teniendo en cuenta los resultados del diagrama de Pareto, se procedió a analizar las causas de mayor relevancia y las posibles alternativas para dar solución a las mismas, evaluando la efectividad a través de criterios objetivos, es decir, asignando parámetros medibles para su control.

### 5.1.2.3. Calidad de carne

#### 5.1.2.3.1 Material experimental

El material experimental del presente estudio estuvo constituido por un total de 21 canales de ganado vacuno, de ambos sexos, con edad inferior a 12 meses. Dado que se llevaron a cabo dos ensayos diferentes, el material experimental se dividió en 10 canales para el ensayo 1 y 11, para el ensayo 2.

De esta forma, para el ensayo 1 se utilizaron 20 medias canales de ganado vacuno (10 del lado derecho y 10 del lado izquierdo), mientras que para el ensayo 2, se utilizaron 22 medias canales de ganado vacuno (11 del lado derecho y 11 del lado izquierdo).

Cada grupo de animales se extrajo de un mismo día de sacrificio; siendo ambos grupos sacrificados en un matadero situado en Córdoba, en el periodo de enero a julio del 2017.

#### **5.1.2.3.2 Asignación de parámetros a las variables identificadas**

Conocidos los potenciales factores que daban origen al problema, se procedió a determinar las posibles soluciones a la pérdida de calidad organoléptica de la carne. Para analizar las causas y corroborar que las acciones tomadas tuvieran una repercusión real sobre los defectos, se seleccionó un parámetro y un método de medición objetivo, sin que este último implicara grandes inversiones para la empresa.

#### **pH**

La medida del pH fue realizada por potenciometría utilizando un pH-metro portátil (Meat pH Meter, Hanna Instruments, Guipúzcoa, España) según el método descrito por Martin et al. (1971) y Boccard et al. (1981). Se realizaron dos medidas a la totalidad de las canales: a los 45 minutos del sacrificio (al final de la línea de faenado) y a las 24, 48, y 72 horas del sacrificio (en las cámaras de refrigeración de canales de vacuno) sobre los músculos de la Riñonada (músculos toraco lumbares, entre el 12<sup>o</sup> y el 14<sup>o</sup> espacio intercostal) y el Redondo (músculo semitendinoso), estableciéndose tres rangos de pH como referencia:

1.  $5,50 < \text{pH} < 5,80$ : valor óptimo
2.  $5,80 < \text{pH} < 6,20$ : valor aceptable (se corresponde con carne más dura y de calidad heterogénea)
3.  $\text{pH} > 6,20$ : valor elevado (se corresponde con carnes duras, firmes y secas (DFD)).

## Color

La determinación del color externo se realizó sobre la superficie del músculo *Pectoralis superficialis*, siempre en la zona magra. Se tomaron medidas sobre un total de 42 medias canales. Los parámetros determinados fueron: L\* (luminosidad), a\* (variación rojo-verde), b\* (variación amarillo-azul), C\* (cromaticidad o saturación =  $(a^2 + b^2)^{1/2}$ ), ángulo h\* (matiz =  $180 + \arctan(b^*/a^*)$ ). Para la realización de este análisis se utilizó un colorímetro Chroma METER CR-400 (Konica Minolta Sensing INC., Osaka Japón) (CIE, 2004).

## Humedad

Para la medición de la humedad, se observó tanto la humedad relativa de las cámaras durante el proceso de enfriamiento como la humedad superficial de las canales en los diferentes tiempos de medición aplicados en cada ensayo.

La humedad relativa se analizó a través de un Datalogger Humedad-Temperatura (Datalogger Humedad/ temperatura testo modelo 175 H1) capaz de comprobar la velocidad de enfriamiento de las canales y la humedad presente en las cámaras. El equipo se colocó en una de las canales y en cada una de las cámaras de la prueba.

El porcentaje de humedad superficial se midió *in situ*, medidor de humedad de los materiales (Testo 606-2), haciendo las observaciones en todas las medias canales, en la zona del pecho en músculo *Pectoralis superficialis* de la canal, en la zona magra.

### 5.1.2.4. Ensayo 1: Comparación de pérdidas de humedad durante la etapa de oreo de la canal

Se realizó un estudio comparativo de la evolución de los parámetros de calidad de la canal en función del tipo de oreo realizado. En concreto, se realizó una inspección

visual y se determinaron los parámetros humedad superficial, pH, temperatura de la canal, color, temperatura y humedad relativa de la cámara.

Se realizó un enfriamiento durante 72 horas a una temperatura de 0-3°C y 50% de humedad relativa, se introdujeron las diez medias canales izquierdas en la cámara A, la cual fue utilizada como cámara control, y las diez medias canales derechas, en la cámara B. En esta última cámara se aplicó un choque térmico a su inicio, de -10°C y luego se mantuvieron las condiciones normales de uso (las establecidas en la cámara A), aplicando así un oreo escalonado. Adicionalmente en la cámara B, se colocó un humidificador portátil, con la finalidad de mantener el aire de la cámara en condiciones de saturación.

En ambas cámaras se colocó un *Datalogger* Humedad-Temperatura (Datalogger humedad/temperatura Testo modelo 175 H1) para comprobar la velocidad de enfriamiento de las canales.

Para evaluar las diferencias en el enfriamiento, se determinaron todos los parámetros desde el tiempo cero, permitiendo evaluar así tanto el comportamiento de los mismos frente al paso del tiempo como la calidad de la canal al final del ensayo.

#### 5.1.2.5. Ensayo 2: Efecto de la humidificación industrial y la distribución de las salidas de aire (confirmación)

Para la prueba de humidificación se seleccionaron once canales de vacuno al azar, 6 hembras y 5 machos, en un mismo día de sacrificio y cuyas medias canales se separaron, faenaron y se sometieron a enfriamiento durante 72 horas en dos cámaras con diferentes condiciones ambientales:

- Cámara A: temperatura de 0-3 °C, sin humidificación y con cuatro salidas de aire en uso.



- Cámara B: temperatura de 0-3°C, con humidificación, conseguida mediante la instalación de un equipo industrial de humidificación dotado de un sensor de humedad relativa para la autorregulación y con sólo dos salidas de aire en funcionamiento.

En todas las medias canales se analizaron los parámetros de calidad humedad superficial, pH, temperatura de la canal y color, además de analizar la temperatura y humedad relativa de la cámara. Las muestras se controlaron a los tiempos 0, 24, 48 y 72 horas.

Finalmente, y con el objetivo de poder tratar los resultados de los ensayos estadísticamente se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa Minitab 18.

### **5.1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **5.1.3.1. Evaluación de las reclamaciones recibidas relativas a calidad de carne**

Durante los meses de enero a julio del año 2016 se recibieron un total de 47 reclamaciones. De todas ellas, se procedió a seleccionar, para el estudio, las que estaban relacionadas con la calidad organoléptica de la canal de vacuno, suponiendo un total de 11 reclamaciones tal y como se muestra en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1.** Registro de reclamaciones de clientes

Núm. Reclamación	Fecha Alta	Producto Código	Producto
38	16/01/2016 14:15	8000022	1/2 canal vacuno
58	25/01/2016 21:21	8000005	1/2 canal vacuno
73	23/03/2016 15:19	8000022	1/2 canal vacuno
23	13/04/2016 19:14	8000022	1/2 canal vacuno
39	19/04/2016 17:57	8000022	1/2 canal vacuno
54	19/05/2016 15:51	5762024	Pistola
62	23/05/2016 14:02	5760021	1/2 canal vacuno
64	23/05/2016 15:09	5764009	Solomillo vacuno
31	10/06/2016 16:02	5762028	Riñonada
58	27/06/2016 11:42	5762024	Pistola
60	18/07/2016 14:03	8000022	1/2 canal vacuno

En la Tabla 5.1 se aprecia cómo las 11 reclamaciones recibidas proceden únicamente de 4 socios, todos con más de una incidencia, excepto uno (cliente número 82643200) que sólo presentó una reclamación. Con relación al tipo de producto, se observa que el producto que más reclamaciones produjo fue la media canal de vacuno (7 sobre 11), razón por la cual se decidió incluir este tipo de producto en todos los análisis de calidad posteriores. Asimismo, las reclamaciones mostradas en la Tabla 5.1 de los distintos clientes, estaban asociadas con color oscuro y resecamiento de la canal.

La bibliografía define el color en la carne fresca como el principal atributo que influye en la calidad definida para los consumidores, ya que éstos asocian el color con el grado de frescura y, en definitiva, con la calidad final de la carne (Braña, *et al.*, 2011; Brewer *et al.*, 2002). Es por ello, que se decidió estudiar el resecamiento de la canal

como oportunidad de mejora de la calidad de la canal, eliminando el resecamiento de la misma.

### 5.1.3.2. Aplicación de herramientas de mejora continua para el análisis de fallos

Conocida la oportunidad de mejora, esto es, el resecamiento superficial de las canales que afecta el color de las mismas, se procedió a su análisis a través del uso de herramientas de mejora continua, según lo recomendado en la bibliografía por Gutiérrez y De la Vara (2004).

Para ello, se aplicó el diagrama de Ishikawa cuyos resultados pueden verse en la Figura 5.1. Para la obtención de lo mostrado en la Figura 5.1 intervino un equipo multidisciplinar constituido por 6 personas, tal y como se señaló en el apartado 5.1.2.2.



**Figura 5.1.** Diagrama de Ishikawa para el defecto resecamiento de las canales en matadero.

En el diagrama causa-efecto (Figura 5.1) quedó evidenciado que las categorías Métodos y Máquinas son las que, en principio, están impactando con un mayor número

de factores en el resecamiento de las canales, según las observaciones de cada una de las partes involucradas en el proceso, lo que coincide con lo que expresa la bibliografía en cuanto al tono de la carne fresca, el cual está relacionada con los factores *post-mortem* (Braña et al., 2011).

En la Figura 5.1 se observan, además, cuáles son los principales factores que afectan el resecamiento de las canales:

Mano de obra:

- Excesiva eliminación de grasa: Durante el faenado, dependiendo del criterio del operador, se puede eliminar más cobertura de grasa de la necesaria.
- Ruptura de flor: Durante el faenado, por fallos en el desollado o cortes mal realizados, se pierde la cobertura de la membrana, dejando más expuesta a la canal.

Materiales:

- Características de la materia prima (animal): Condiciones en las que se recibe el animal para el sacrificio (edad, nivel de estrés, alimentación, entre otros).

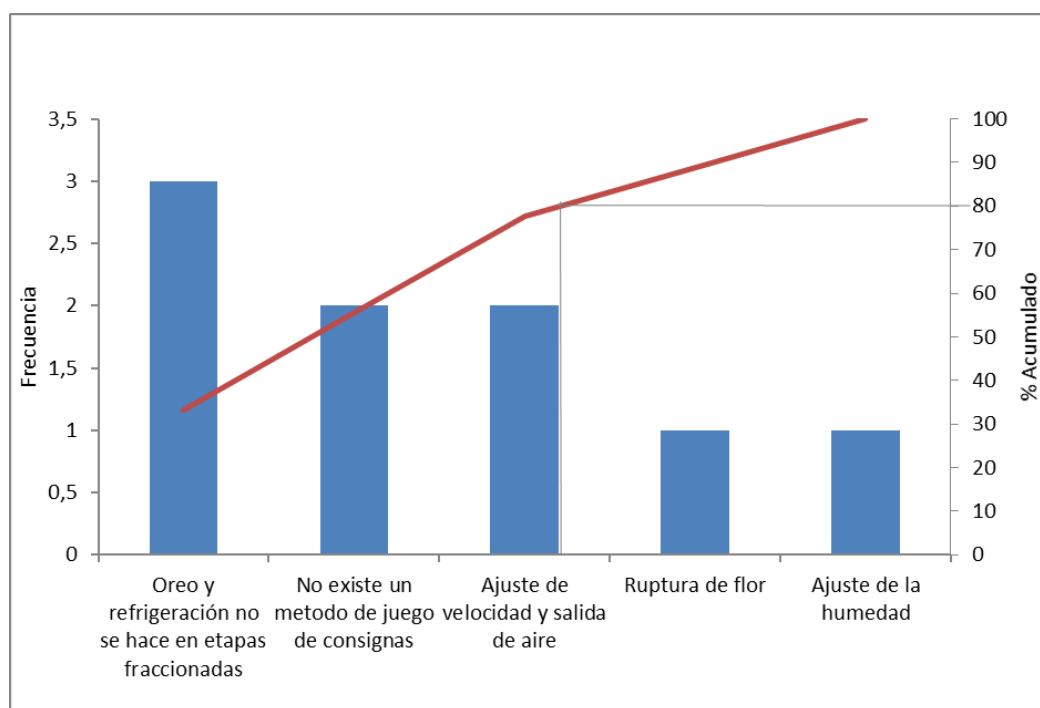
Métodos:

- No existe un método de juego de consignas: No se pueden programar las temperaturas de las cámaras de forma escalonada.
- Secado de la canal para duchado
- Método equivocado de suministro de agua a la canal para el duchado.
- Especificaciones de faenado no definidas en función del objetivo: El sacrificio es general, con lo que no se consideran actuaciones diferenciadas por cliente.
- No se protege la canal mediante mallado.
- No se tiene definido el método óptimo de colocación de la canal en la cámara: Distancia ente canales.
- Desconocimiento del estándar de uso de las cámaras.
- Oreo y refrigeración en etapas fraccionadas: No se considera un choque térmico, y luego suavizar la bajada de temperatura.

Máquinas:

- Tipo de cuchillos usados: tamaño y forma adecuados para no excederse.
- Graduación de consignas: Posibilidad de ajuste de los parámetros de enfriamiento de la cámara.
- Ajustes de velocidad y ubicación de las salidas del aire
- Ajuste de la humedad
- Distribución de las salidas de aire que incide de forma directa sobre las canales

Para la valoración de las diferentes causas se realizó una revisión para estimar cuales se repetían con mayor frecuencia y se procedió a analizar, previa interpretación con el equipo de trabajo, los resultados obtenidos en el diagrama anterior mediante la ejecución de un diagrama de Pareto, al cual se le aplicó la regla 80/20, como se observa en la Figura 5.2.



**Figura 5.2.** Diagrama de Pareto para para análisis del defecto resecamiento de las canales en matadero.

De la Figura 5.2 se puede concluir que, en orden de importancia, el 20% de las causas que afectan al resecamiento de las canales son:

1. El oreo y la refrigeración que no se realizan en etapas fraccionadas;
2. La ausencia de un método de variación de consignas (la cual está muy relacionada con la separación de ambos procesos);
3. La falta de ajuste de la velocidad y salida del aire.

Según Gutiérrez y De la Vara (2004), eliminando estas causas, se podrán resolver el 80% de los fallos por carne reseca informados por los clientes. Es importante mencionar que en el análisis también se han extraído como causas relevantes la ruptura de flor que cubre la canal y la imposibilidad de ajuste de la humedad en la cámara.

Una vez conocidas las variables que podrían afectar la calidad del producto, se procedió a realizar los ensayos en los que se manipularon los parámetros anteriormente definidos en el análisis cualitativo para la obtención, de este modo, de datos cuantitativos objetivos.

#### 5.1.3.3. Pruebas de simulación de parámetros

Las condiciones para el oreo de la canal se basan en caudales elevados de aire para extraer el calor interno de la canal tras el sacrificio. Teniendo en cuenta que los elevados caudales tienden a secar el exterior de la canal, simplemente por circulación de aire, es necesario mantener elevados grados de humedad en el ambiente para minimizar este resecamiento (FAO, 1993). La recomendación respecto al oreo de canales según la misma institución es que la temperatura de la canal sea menor de 7 °C (y de obligado cumplimiento según el RD 854/2004), para lo que sugiere que la temperatura de la cámara se sitúe entre 0-3° C, y que el mismo debería realizarse bajo condiciones definidas de densidad de carga entre 300-500 Kg/m<sup>2</sup> (espacio neto), y humedad relativa de la cámara de 82- 90%.

Persiguiendo las indicaciones mencionadas, se procedió a revisar las condiciones actuales de las cámaras de oreo y a realizar los ajustes necesarios para alcanzar dichas condiciones. Para ello, fue necesario la ejecución de algunos ensayos para modificar el funcionamiento de las cámaras por la incapacidad de las mismas para

proporcionar algunas de las condiciones requeridas (suministro y control de la humedad relativa y la variación de los sistemas de aireación).

Para llevar a cabo la simulación de parámetros, no se realizó ningún tipo de reingeniería del proceso, para no generar desperdicios por inversión en maquinaria y equipos sin garantía previa de una mejora real, sino que sólo se trabajó sobre la manipulación de parámetros y se observaron los resultados en la calidad de las canales.

Según las posibles causas resultantes del diagrama 80/20 sobre los defectos en las canales, se realizó una asignación de parámetros a las variables de control y se determinó un método rápido de medición para el análisis de los mismos, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2.** Asignación de parámetros y método de determinación de los mismos.

Causa	Parámetros	Método de determinación
El oreo y refrigeración no se realiza en etapas fraccionadas.	1-Temperatura/ humedad relativa.	1- Datalogger Humedad/ temperatura testo 175 H1
	2-Humedad superficial de la canal o sus cuartos.	2-Medidor de humedad de los materiales (Testo 606-2)
	3-Luminosidad de la canal.	3-Colorímetro (Minolta Chromameter CR-400)
Ausencia de un método de juego de consignas.	1-Velocidad del aire	1-Barómetro
	2-Humedad superficial de la canal o sus cuartos	2-Medidor de humedad de los materiales (Testo 616-2) Datalogger Humedad/ temperatura testo 175 H1
	3-Luminosidad de la canal	3-Colorímetro (Minolta Chromameter CR-400)

Como se observa en la Tabla 5.2, para caracterizar las causas “El oreo y refrigeración no se realiza en etapas fraccionadas” y “Ausencia de un método de juego de consignas” se utilizarán los parámetros Temperatura/humedad relativa, humedad superficial y luminosidad de la canal. Se analizan a través de los mismos parámetros debido a que ambas causas hacen a la posibilidad de modificar los parámetros de funcionamiento de las cámaras y, de esta forma, optimizar el proceso de enfriamiento y

mantenimiento refrigerado. Por otra parte, la tercera causa “Falta de ajuste de la velocidad y salidas del aire” se caracterizará a través de las variables velocidad del aire, humedad superficial y luminosidad de la canal.

Los instrumentos de medición utilizados para la caracterización son equipos para medición rápida e *in situ*. Esto ofrece la ventaja de tener la información en tiempo real, lo que es útil para verificar los efectos de la manipulación de las diferentes variables estudiadas.

#### 5.1.3.4. Ensayo 1: comparación de pérdida de humedad superficial por oreo

Los resultados de este ensayo, a pesar de que no mostraron grandes diferencias aparentes en cuanto a la calidad de las canales, proporcionaron aspectos interesantes en cada uno de los parámetros bajo estudio. En la cámara A se mantuvieron las condiciones normales de uso, y en la cámara B se aplicaron las modificaciones, tal y como se explicó en el apartado 5.1.2.4 de la Metodología. A continuación, se describen las observaciones por parámetro.

##### 5.1.3.4.1. pH y temperatura

La Tabla 5.3 muestra los resultados del análisis de pH en 2 puntos diferentes de la canal, la Riñonada (músculos Toraco lumbares) y el Redondo (musculo semitendinoso) y la humedad superficial medidos en un total de 20 canales en las dos cámaras en estudio y durante los tiempos 0, 24, 48 y 72 horas.



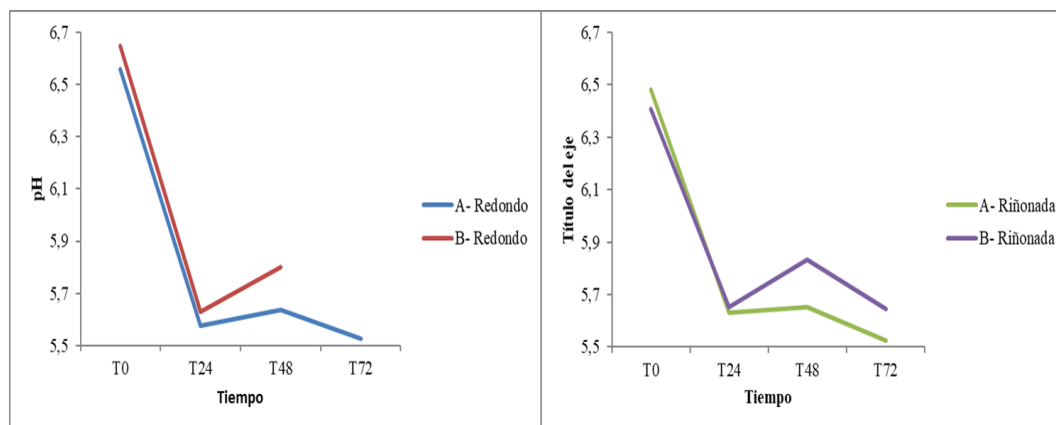
**Tabla 5.3.** Evolución del pH y la humedad superficial (% HS) de las muestras de riñonada y redondo almacenadas en las dos cámaras estudiadas.

Tiempo	Cámara A			Cámara B		
	pH B	pH R	%HS	pH B	pH R	%HS
Promedio T0	6,50	6,48	79,85	6,65	6,41	80,94
Promedio T24	5,58	5,63	63,48	5,63	5,65	74,90
Promedio T48	5,64	5,65	66,22	5,80	5,83	67,12
Promedio T72	5,53	5,52	65,08	-	5,64	67,76
Media	5,82	5,92	68,75	6,03	5,89	72,68

pH B: pH del redondo. pH R: pH de la riñonada.

Como se observa en la Tabla 5.3, las nuevas condiciones de humedad conseguidas en la cámara B no influyen en el descenso del pH, analizado tanto en redondo (B) como riñonada (R), manteniendo la evolución de las condiciones de referencia (cámara A).

Si se comparan los valores de descenso de pH por piezas, se observa que las diferencias son mínimas para los tiempos 0 (T0) y un día (T24). Sin embargo, a los 2 días (T48) se observa una diferencia más marcada en ambas piezas al comparar el tratamiento dado en las Cámaras A y B. Para los tres días (T72) de almacenamiento en cámara, en el caso de la cámara B, el redondo tuvo que ser retirado para la venta y no se pudo recoger los datos para este tiempo, sin embargo la riñonada sí se pudo observar, y se aprecia una disminución marcada del pH, aunque menor en la cámara B que en la A, manteniendo el patrón de pH que tiende a subir pasadas las 24 horas de refrigeración con mayor énfasis en las canales de la cámara B, y su posterior descenso. El comportamiento de la evolución del parámetro pH se puede observar en la Figura 5.3.



**Figura 5.3.** Comportamiento del pH por pieza

La medida del descenso de temperatura en las canales se ha realizado mediante las observaciones sobre dos medias canales de un mismo animal, una dispuesta en la cámara A y otra en la cámara B. Los resultados se muestran en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4.** Evolución de la temperatura por pieza en las dos cámaras estudiadas.

	Temperatura Redondo (°C)		Temperatura Riñonada (°C)	
	Cámara A	Cámara B	Cámara A	Cámara B
T0	31	32	40	34
T24	9	7,5	8	4
T36	5,5	4,5	6,4	2,9
T48	4	3	5	2,4
T72	2,8	1,8	3,8	1,6

Como principal resultado en el análisis del comportamiento de la temperatura del redondo que se presenta en la Tabla 5.4, encontramos que la media canal de la cámara A tarda 30 horas en alcanzar temperatura menor a 7°C, y tras 66 horas la temperatura alcanzada es de 2,8 °C, mientras que la de la cámara B tardan 26,2 horas en alcanzar temperatura menor a 7°C, y tras 66 horas la temperatura alcanzada es de 1,8 °C. Este hecho supone un adelanto de 4 horas en alcanzar la temperatura óptima, a favor de la cámara B.

En lo que respecta a la riñonada, como principal resultado se encontró que la canal de la cámara A tarda 25 horas en alcanzar una temperatura inferior a 7°C, y tras 23 horas la temperatura alcanzada es de 6,4 °C. Por su parte la canal de la cámara B tarda 10 horas en alcanzar temperatura menor a 7°C, y tras 23 horas la temperatura alcanzada es de 2,9 °C. Este hecho supone aproximadamente 15 horas menos para alcanzar la temperatura óptima, a favor del proceso usado en la cámara B.

La cámara A roza niveles de tiempo cercanos a los máximos recomendados (36 horas) para que la canal alcance temperatura inferior a 7°C (FAO, 1993), por lo que la propuesta de modificación ofrece un beneficio al reducir ese tiempo de 25 a 10 horas, permitiendo así reducir el tiempo de exposición al frío y por consiguiente el resecamiento de la canal.

#### 5.1.3.4.2. Color

En la Tabla 5.5 se muestran los valores medios de los parámetros de color (L, a\*, b\*, C\* y h\*) en las dos cámaras ensayadas de las 20 medias canales analizadas. Se tomaron medidas de color a tiempo 0 (T0), un día (T24), dos días (T48) y tres días (T72) tras su almacenamiento en cámara.

**Tabla 5.5.** Valores de los parámetros de color en el ensayo de oreo y humidificación

	Cámara A					Cámara B				
	L	a*	b*	C*	h*	L	a*	b*	C*	h*
T0	38,38	11,85	3,24	74,12	0,24	33,35	12,66	2,00	85,35	0,14
T24	37,45	12,17	3,21	75,51	0,25	37,42	14,34	5,26	111,58	0,33
T48	33,98	17,77	5,04	179,42	0,14	37,24	17,61	6,23	158,43	0,33
T72	34,19	18,82	6,51	181,67	0,33	35,12	16,88	6,07	146,49	0,33
<b>Promedio</b>	<b>36,00</b>	<b>15,15</b>	<b>4,50</b>	<b>127,68</b>	<b>0,24</b>	<b>35,78</b>	<b>15,37</b>	<b>4,89</b>	<b>125,46</b>	<b>0,28</b>

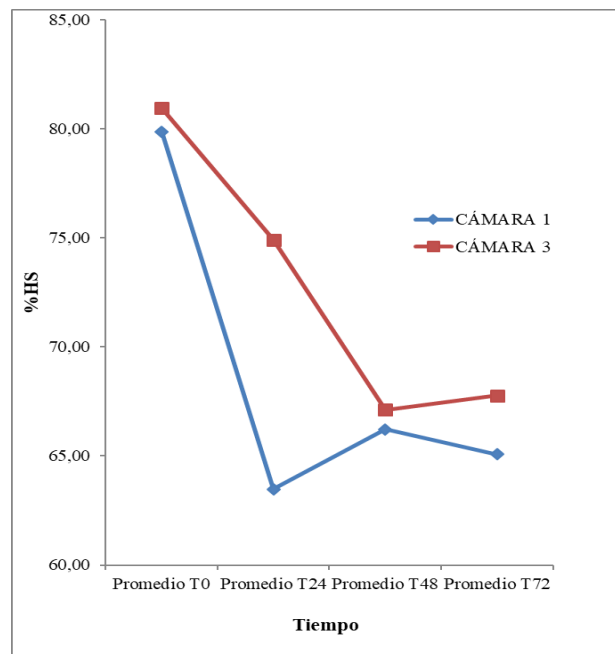
Como se aprecia en la Tabla 5.5, las canales almacenadas en la cámara B resultaron menos luminosas y más rojas a T0, dados los valores de los parámetros L y a\*, lo que implica un color más oscuro de las canales almacenadas en dicha cámara. No

obstante, en la segunda medida (T24) las canales de una y otra cámara se igualan en luminosidad y a tiempos posteriores las canales de la cámara B resultan más luminosas y menos rojas, es decir, más claras que las almacenadas en la cámara A.

Este hecho podría deberse al menor resecamiento superficial de la canal por presentar una mayor humedad superficial las canales de la cámara B como consecuencia del aporte de humedad en la cámara.

#### 5.1.3.4.3. Humedad superficial (%HS)

El comportamiento de la humedad superficial (%HS) de ambas cámaras se muestra en la Tabla 5.3 y la Figura 5.4 muestra la evolución de dicha variable en las canales de la cámara A frente a las almacenadas en la cámara B. Como se puede apreciar, el descenso de humedad es menos acusado en esta última y a las 72 horas se mantiene por encima de la humedad de la cámara A.



**Figura 5.4.** Comportamiento de la humedad superficial en las canales

Finalmente, para comprobar si existían diferencias significativas entre los valores de los parámetros color, pH y humedad en las dos cámaras ensayadas (A y B), se aplicó una prueba ANOVA cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.6.

**Tabla 5.6.** Análisis estadístico de los resultados obtenidos en la prueba de simulación

Cámara	L	a*	b*	C*	h*	pH	%HS <sup>1</sup>
A	36,00	15,15	4,50	127,68	0,24	5,83	68,75 (a)
B	35,78	15,37	4,89	125,46	0,28	6,03	72,68 (b)

<sup>1</sup> valores con letras diferentes muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

En la Tabla 5.6 se observa cómo existen diferencias significativas únicamente en el parámetro humedad superficial de la canal, indicando una disminución considerable en el resecamiento de las canales almacenadas en la cámara B. En definitiva:

- El descenso de pH de las canales estudiadas no se ve afectado por las nuevas condiciones de almacenamiento en cámara.
- Las nuevas condiciones de la cámara B logran alcanzar la temperatura óptima 4 horas antes que las condiciones actuales.
- Con la instalación del humidificador se evita el resecamiento superficial de las canales.

Los resultados obtenidos en los ensayos previos proporcionaron las condiciones de almacenamiento de canales más adecuadas desde el punto de vista metodológico y técnico, con lo que, a continuación, se instaló un nuevo sistema de humidificación y control de humedad relativa en las instalaciones frigoríficas del matadero.

#### 5.1.3.5. Efecto de la humidificación y del número de salidas de aire

Los efectos de la humidificación y el ajuste de las salidas de aire mostraron algunas diferencias de interés en cuanto a la calidad de las canales, en cada uno de los

parámetros bajo estudio. En la cámara A se mantuvieron las condiciones normales de uso, mientras que, en la cámara B, se aplicaron las modificaciones, tal y como se explicó en el apartado 5.1.2.5 de la Metodología. A continuación, se describen las observaciones por parámetro estudiado.

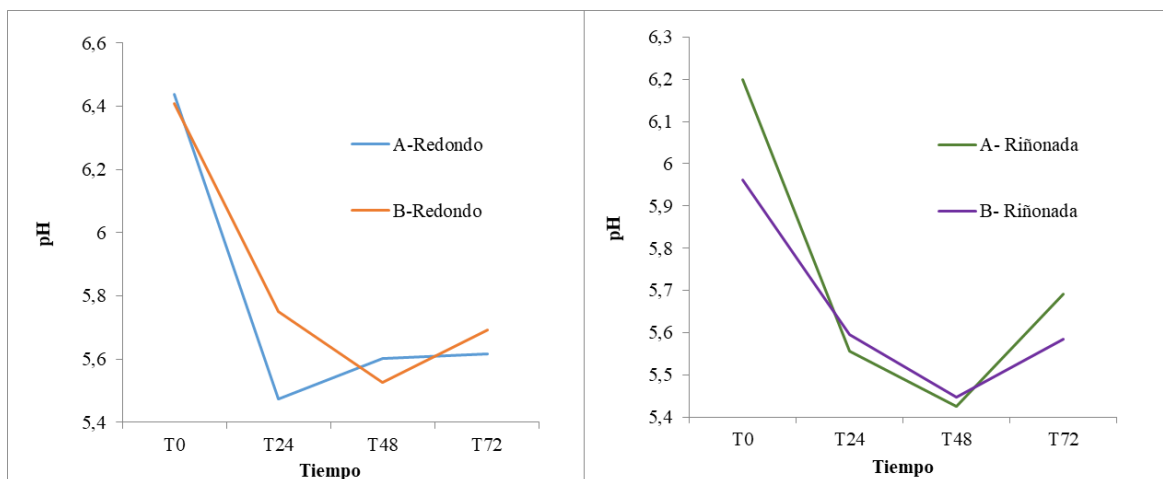
### 5.1.3.5.1. pH y temperatura

En la Tabla 5.7 se muestran los resultados para el segundo ensayo, del análisis de pH en 2 puntos diferentes de la canal, la Riñonada (músculos Toraco lumbares) y el Redondo (músculo semitendinoso) y la humedad superficial.

**Tabla 5.7.** Evolución de los valores del pH y humedad superficial (HS) de las dos piezas comerciales y en las dos cámaras ensayadas.

	Cámara A			Cámara B		
	pH B	pH R	%HS	pH B	pH R	%HS
Promedio T0	6,44	6,21	79,81	6,41	5,97	93,30
Promedio T24	5,47	5,56	73,66	5,74	5,59	75,50
Promedio T48	5,59	5,42	61,78	5,53	5,45	66,58
Promedio T72	5,60	5,68	66,51	5,69	5,58	77,15

De los datos mostrados en la Tabla 5.7 se puede apreciar cómo las nuevas condiciones de humedad (B) no influyen de forma importante en el descenso de pH, tomado tanto en redondo (pH B) como riñonada (pH R), manteniendo la evolución actual (A) (Figura 5.5).



**Figura 5.5.** Comportamiento del pH por pieza en ensayo de verificación.

Si se comparan las gráficas de descenso de pH por piezas de la Figura 5.5, se observa que hay pocas diferencias. La evolución observada corresponde a los tiempos 0 (T0), un día (T24), dos días (T48) y tres días (T72) de su almacenamiento en cámara. En el caso de la riñonada el descenso del pH parece ser muy acusado al inicio, pero finalmente alcanza valores similares a los observados en la cámara B. El descenso rápido del pH puede acarrear otros problemas de calidad de carne (por ejemplo, carnes PSE-pálidas, blandas y exudativas-).

Con relación a la temperatura, en la Tabla 5.8 se puede observar el comportamiento de la misma tanto en la cámara A como en la cámara B. La temperatura se tomó en el redondo que es una zona de mayor espesor, verificando así la temperatura interna de la masa muscular.

**Tabla 5.8.** Evolución de la temperatura en el redondo en las dos cámaras ensayadas.

	Temperatura Redondo	
	Cámara A	Cámara B
T0	40	40
T24	11,5	8
T36	7	5
T48	3,5	3
T72	3	2,5

Si se compara el descenso de temperatura en las canales almacenadas en las cámaras A y B, una dispuesta en la cámara A y otra en la cámara B, como principal resultado se tiene que las medias canales de la cámara A tardan 30 horas aproximadamente en alcanzar temperatura menor a 7°C, tras 66 horas la temperatura alcanzada es de 2,6°C. Por su parte la de la cámara B tarda 25 horas en alcanzar una temperatura menor a 7°C, y tras 66 horas la temperatura alcanzada es de 1,8°C. Este hecho supone una diferencia de 4,8 horas en alcanzar la temperatura óptima, a favor de la cámara B, por lo que se confirman los resultados del estudio inicial, ofreciendo entonces solución al problema de resecamiento de las canales planteado.

### 5.1.3.6.2. Color

En la Tabla 5.9 se muestran los valores medios de los parámetros de color (L, a\*, b\*, C\* y h\*) en las dos cámaras ensayadas de las 22 medias canales analizadas. Se tomaron medidas de color a tiempo 0 (T0), un día (T24), dos días (T48) y tres días (T72) tras su almacenamiento en cámara.

**Tabla 5.9.** Comportamiento del color en la prueba de oreo y humidificación en las dos cámaras del estudiadas.

	Cámara A					Cámara B				
	L	a*	b*	C*	h*	L	a*	b*	C*	h*
T0	39,40	13,43	3,06	93,04	0,20	38,77	13,08	3,25	86,74	0,24
T24	34,42	17,02	5,65	150,29	0,30	34,47	19,62	8,98	196,12	0,42
T48	39,04	18,59	8,12	176,53	0,40	35,51	19,38	8,53	189,84	0,41
T72	37,61	17,61	6,85	160,81	0,36	39,87	17,79	7,40	161,51	0,38
<b>Promedio</b>	<b>37,62</b>	<b>16,67</b>	<b>5,92</b>	<b>145,17</b>	<b>0,32</b>	<b>37,16</b>	<b>17,47</b>	<b>7,04</b>	<b>158,56</b>	<b>0,36</b>

A la vista de lo mostrado en la Figura 5.5, el pH de las canales almacenadas en una u otra cámara resultaron a T0 y T24 similares. A T48 las canales de la cámara B se vuelven menos luminosas, lo que se explicaría por el mayor %H superficial observada a este tiempo de medida (Tabla 5.6). Finalmente, a T72 las canales de la cámara B resultan más luminosas y menos rojas, es decir, más claras que las almacenadas en la cámara A.

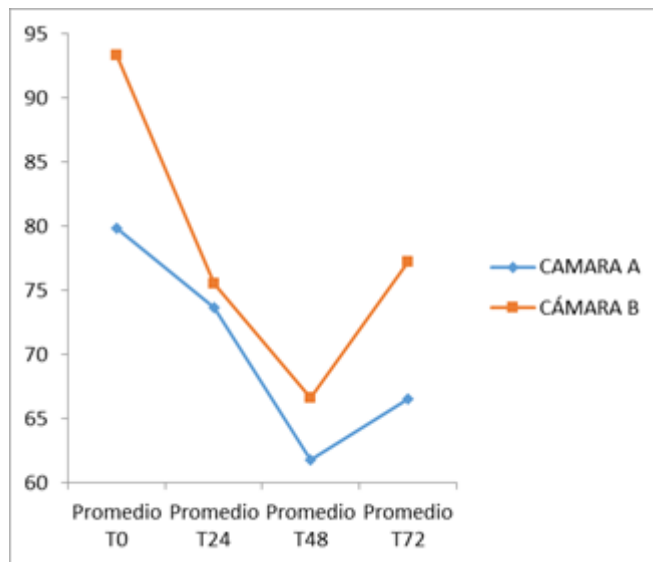


Este hecho podría deberse al menor resecamiento y mayor humedad superficial de las canales de la cámara B, como se observa a continuación.

### 5.1.3.6.3. Humedad superficial

El comportamiento de la humedad superficial (%HS) de ambas cámaras se encuentra en la Tabla 5.7, y la Figura 5.6 muestra la evolución de dicha variable en las canales de la cámara A frente a las almacenadas en la cámara B. Como se puede apreciar, el descenso de humedad es menos acusado en esta última, y a las 72 horas se mantiene muy por encima de la humedad de la cámara A.

La Figura 5.6 muestra la evolución de la humedad superficial (%HS) de las canales de la cámara A, frente a las alojadas en la cámara B. Vemos como el descenso de %HS es menos acusado en la cámara B, y a las 72 horas se mantiene muy por encima de la %HS de la cámara A.



**Figura 5.6.** Comportamiento de la humedad superficial en las canales en el ensayo de confirmación.

Analizando estadísticamente los resultados obtenidos en este segundo ensayo a través de una prueba de ANOVA, se obtienen los datos que se observan en la Tabla 5.10.

**Tabla 5.10.** Análisis ANOVA de los resultados obtenidos en la prueba de confirmación (T72)

Cámara	L	a*	b*	c*	h*	pH	%HS <sup>1</sup>
A	37,61	17,61	6,85	161,00	0,36	5,60	66,51 (a)
B	39,87	17,79	7,40	162,00	0,38	5,69	77,15 (b)

<sup>1</sup> valores con letras diferentes muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Los resultados de la Tabla 5.10 muestran diferencias significativas en el parámetro humedad superficial de la canal entre las dos cámaras ensayadas, observándose mayor humedad superficial en las canales almacenadas en la cámara B. Estos resultados confirman los obtenidos en el ensayo inicial con lo que se garantiza una mejora en la calidad de las canales y, en última instancia, en la satisfacción del cliente.

Estos resultados han sido obtenidos mediante el uso de las herramientas de mejora continua disponibles, tanto a nivel metodológico como tecnológico, de forma que se ha logrado hacer un análisis completo de la situación, iniciando por la selección de la oportunidad de mejora a abordar y, posteriormente, mediante la caracterización de la misma.

Este trabajo muestra, en definitiva, cómo la medida de un parámetro de fácil determinación (humedad superficial *in situ*) y de baja inversión puede ser de gran utilidad al sistema de apoyo a la toma de decisiones. De hecho, Khusaini et al. (2016) y Dora et al. (2016) plantearon la inversión como una de las barreras más importantes para la implantación de sistemas *lean*, aunque la propia filosofía *lean* evada la realización de inversiones que condicionen su implantación. Asimismo, Alas et al. (2012) identificaron la posibilidad de complementar diferentes técnicas de gestión como una ventaja competitiva para las organizaciones. En este trabajo, se ha mostrado la combinación de *Lean management* con la reingeniería de procesos, la cual ha permitido proporcionar soluciones a la necesidad de mejora. En definitiva, se observa un potencial positivo de beneficios al aplicar técnicas *lean* a la industria agroalimentaria (Simons y Taylor, 2007) y, más específicamente, a la del sector cárnico.

## **5.2. CONTRIBUCIONES DEL *LEAN MANUFACTURING* Y LA TECNOLOGÍA NIRS A LA EFICIENCIA DE LAS OPERACIONES Y LA CALIDAD DEL SERVICIO EN UN MATADERO DE CERDO IBÉRICO**

### **5.2.1. INTRODUCCIÓN**

La industria del sector alimentario se enfrenta a una presión cada vez mayor debido a la competitividad del mercado global y a las exigencias de los clientes que demandan productos seguros y de alta calidad. La industria agroalimentaria tiene un nivel adicional de complejidad en comparación con otros procesos industriales, ya que hay factores físicos y biológicos que se suman, y pueden afectar al proceso de producción.

El jamón de cerdo ibérico es uno de los productos alimenticios más caros producidos en Europa. Para la obtención de un producto final de calidad, se requiere de complejos procesos de producción que van desde la alimentación del cerdo, hasta el sacrificio y el curado de las piezas cárnicas, estando todos ellos estrictamente controlados por las Directrices establecidas por la Unión Europea y las Leyes españolas.

Según el régimen de alimentación durante la fase de cebo final, los cerdos se clasifican en tres categorías comerciales (BOE, 2014): "Bellota", "Cebo de campo" y "Cebo".

La etapa de salazón es un punto crítico en el proceso de curación del jamón. Durante este proceso la sal entra paulatinamente en la carne, a la vez que, por ósmosis, se produce la extracción de agua desde el interior hacia el exterior de los tejidos (Ventanas, 2001; Martuscelli *et al.*, 2017).

La etapa de salazón está condicionada por dos parámetros principales: el peso del jamón y la relación entre los ácidos grasos insaturados y los ácidos grasos totales (AGT) (Ventanas 2001; Seong *et al.* 2010), de forma que con el conocimiento de ambos parámetros, las industrias pueden realizar la etapa de salado correctamente y evitar así

cualquier alteración de las piezas cárnicas debido a los defectos causados por el crecimiento de microorganismos y las actividades enzimáticas (Serra et al., 2005; Toldrá, 2005; Flores et al., 2012).

De acuerdo con el estándar oficial, el cerdo Ibérico se clasifica por el perfil de ácidos grasos de la capa de grasa subcutánea, que es determinado por cromatografía de gases (CG). Si bien, los altos costes de análisis y el largo proceso de preparación de la muestra para su análisis por CG, han impedido que esta práctica de control de calidad se aplique en todos los animales de forma individual. Sin embargo, es un hecho bien conocido que la clasificación de cerdos individuales puede diferir mucho del promedio del lote (García, 2002; Serrano et al., 2012).

Investigaciones anteriores han identificado dos áreas de tecnología que podrían ayudar a la calidad y la eficiencia en el matadero: *Lean Management* y Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) (Khanchanapong et al., 2014, Zamora-Rojas, et al., 2012). Sin embargo, se ha escrito muy poco sobre el uso de ambas aplicaciones en conjunto (Tanco et al., 2013; Dora et al., 2013; Khanchanapong et al., 2014).

*Lean Management*, como se ha comentado, tiene como objetivo proporcionar bienes y servicios que se adapten más a las necesidades de los clientes a mayor velocidad y menor coste, manteniendo la calidad, es decir, lograr más con menos. De esta manera, los productores pueden optimizar tanto sus procesos como el producto de calidad (Abdulmalek, et al., 2006; Chen et al., 2013, Jones y Womack, 2013), al mismo tiempo que aumentan la flexibilidad de la producción (Buehlmann y Fricke, 2016).

*Lean Management* estudia los procesos de producción, centrándose en la identificación y eliminación de acciones desfavorables, se define el tiempo de procesamiento, el tamaño del lote, los recursos de producción, el material, el inventario y el coste (Chen et al., 2013). Diferentes estudios han demostrado que el uso de *Lean Management* en las industrias alimentarias es generalmente bajo (Dora et al., 2014), aunque los investigadores, así como los profesionales, han pedido su aplicación en los

procesos de gestión de la calidad, así como en los procesos de producción. Esto supondría un apoyo para la industria del sector alimentario para ser más eficiente y competitiva al mejorar la calidad del producto, reducir los costes de producción a través de la reducción de desechos y agregar valor al producto final (Goncharuk, 2009; Mahalik, 2010; Mahalik y Nambiar, 2010; Kennedy et al., 2013).

Los procesos para garantizar la calidad y seguridad de los alimentos son vitales para la industria alimentaria, y la búsqueda de eficiencia implica principalmente el desarrollo de procedimientos que identifiquen los fallos en la cadena de producción ya que, en la mayoría de los casos, los fallos son la causa de la alteración de la calidad y la seguridad del producto final. Conseguir minimizar las pérdidas productivas en el matadero y en las industrias es, por lo tanto, en la actualidad una de las principales prioridades para el sector.

Una forma de implementar la producción ajustada es usar un Mapa de Flujo de Valor (*Value stream mapping*, VSM), mediante el estudio del diagrama de flujo de un proceso productivo para identificar los desperdicios, las pérdidas de alimentos, mejorar la eficiencia, la productividad reduciendo los productos defectuosos (Abdulmalek y Rajgopal, 2007, Chen et al., 2013, De Steur et al., 2016). VSM incluye todas las actividades necesarias para crear un producto y ponerlo a disposición del cliente, incluidos los procesos de flujo de material e información (Kuhlang et al., 2011; Jones y Womack, 2013). El método *Kaizen* nos permiten evaluar todo el proceso utilizando los criterios *Lean* (Chen et al., 2013), y el poco tiempo necesario para el análisis hace que esta herramienta sea especialmente útil en la industria cárnica, que es propensa a un alto nivel de variabilidad (Simons y Taylor, 2007).

Actualmente, los aspectos clave de la competitividad apuntan a la satisfacción del cliente y se centran en el tiempo de entrega, la calidad y el coste (Fullerton et al., 2001; Cuatrecasas-Arbos et al., 2011). El "tiempo de entrega" se define como el tiempo requerido por cualquier proceso para transformar las entradas en salidas. Incluye los tiempos de operación y proceso, así como los tiempos de inactividad, transporte y configuración (Kuhlang et al., 2011, Jones y Womack, 2013). Los procesos con tiempos

de respuesta minimizados significan que las actividades ineficientes fueron eliminadas del proceso de producción y, como resultado, se reducen las pérdidas (Fullerton et al., 2001, Cuatrecasas-Arbo et al., 2011).

Según Wang y Cullinane (2008), un sistema de producción *Lean* flexible debe basarse en el uso de la tecnología, que nos proporciona información sobre el proceso. NIRS es una técnica espectroscópica precisa que nos permite obtener una caracterización de atributos múltiples, que en el caso de los jamones produce estimaciones prácticas para fines científicos e industriales (Zamora-Rojas et al., 2013). Los modelos se desarrollan a partir de muestras frescas de productos biológico y, aunque son propensos a un cierto grado de incertidumbre, así como a errores de predicción, los errores totales estimados (método, muestreo y otros) están al mismo nivel para el análisis de CG y NIRS (Zamora-Rojas et al., 2013), lo que significa que el grado de error es aceptable.

Hasta ahora, la aplicación de la tecnología analítica para el control de procesos en las industrias alimentarias se ha centrado principalmente en instrumentos analíticos no destructivos (Nychas et al., 2016). El objetivo de este documento es aprovechar la experiencia del uso de NIRS en la industria alimentaria para evaluar las posibles sinergias cuando se combina con *Lean Manufacturing*.

Investigaciones previas han demostrado que el tiempo de entrega es un factor crítico a la hora de tomar decisiones. Por ejemplo, un caso reciente relacionado con el campo de la agroindustria sugirió probar estrategias para gestionar conjuntamente el tiempo de cosecha y el rendimiento, con el tiempo de espera como el criterio principal para medir la eficiencia de la repoblación (Behzadi, et al., 2017).

La incorporación de la tecnología NIRS nos permite obtener información inmediata sobre los productos y puede verse como un paso más en el proceso de organización del trabajo, lo que permite la innovación en el uso de procesos *Lean*, una herramienta con un gran alcance para el control de procesos.

De acuerdo con la teoría complementaria entre las tecnologías de fabricación y las prácticas *Lean*, la combinación de diferentes recursos puede generar efectos sinérgicos en el rendimiento operativo (Khanchanapong et al., 2014). La diferencia en los resultados no depende del tipo o el nivel de tecnología avanzada aplicada, sino del papel de los humanos al usar y controlar la tecnología y facilitar la toma de decisiones (Riezebos y Klingenberg, 2011, Abidi et al., 2016), que es uno de los roles clave de la gestión.

Este apartado tiene como objetivo combinar tecnologías con herramientas de Lean Manufacturing en la industria porcina ibérica, y tiene tres objetivos principales: en primer lugar, conocer y adaptar el posible uso de ciertas herramientas de Lean manufacturing para identificar posibles mejoras en la línea de matanza. En segundo lugar, evaluar el método de clasificación en el mismo contexto (lote vs. individuo), la calidad y el coste para reducir el tiempo de resultados para la clasificación de la materia prima. En tercer lugar, evaluar la sinergia potencial del uso de la tecnología de herramientas lean en un matadero, proporcionando nuevas herramientas para poner en práctica un sistema de gestión de *lean manufacturing*.

## **5.2.2. METODOLOGÍA**

Los ensayos se llevaron a cabo en una industria de transformación cárnica (matadero) ubicada en Andalucía (España). Este matadero pertenece a una cooperativa agrícola con actividad en diferentes cadenas de la producción de alimentos provenientes del ganado, incluida la producción de ganado porcino Ibérico y el procesamiento de su carne.

### 5.2.2.1. Herramientas *Lean Management*

Para identificar los puntos críticos y las necesidades del proceso evaluado en este estudio, se utilizaron distintas herramientas de *Lean Manufacturing* como el método *Kaizen* y el Mapa de Flujo de Valor (VSM) (Chen et al., 2013).

El método *Kaizen* y las herramientas de VSM se han utilizado para investigar los siete típicos desperdicios: sobreproducción, tiempos de espera, transporte, inventarios, sobre procesamiento, movimiento y defectos (Chen et al., 2013), al tiempo que permiten una comunicación efectiva y tiempo para encontrar formas de mejorar.

La herramienta *Kaizen* se aplicó en el matadero. Un equipo multidisciplinario (responsable de producción, de calidad, mantenimiento, investigación y desarrollo y el responsable de recepción de la empresa de jamones) compartió información en varias reuniones semanales a lo largo de la temporada, siguiendo las indicaciones de Abdulmalek et al., (2006) y Jones y Womack (2013). Estas reuniones se centraron en las necesidades del proceso y generaron el plan de acción correspondiente, que aseguró que se cumplieran los objetivos principales: mejorar la cadena de valor y responder a los requisitos de los clientes.

El VSM se llevó a cabo utilizando el método de los tres pasos propuesto por Rahani y Muhammad (2012). En primer lugar, se hizo un diagrama que mostraba los flujos de material e información o el estado actual de cómo funcionaba el proceso. En segundo lugar, se elaboró un VSM futuro para identificar las causas de las pérdidas productivas e incluir mejoras que podrían tener un impacto importante en el proceso. Finalmente, se produjo un plan de implementación, destacando las acciones que debían llevarse a cabo para lograr los objetivos del proyecto.

El mapa del flujo de valor (VSM) genera un diagrama del proceso de producción e identifica oportunidades estratégicas para mejorar, lo que lo convierte en una herramienta útil, simple y poderosa (Abdulmalek et al., 2006; Chen et al., 2013; Sihn y Pfeffer, 2013). Se utilizó para generar un mapa completo de la cadena de valor en un esfuerzo por identificar los procesos que agregarían valor al cliente (Tanco et al., 2013).



Los VSM se llevaron a cabo teniendo en cuenta los tiempos medios de los tiempos de trabajo, que implican varias subtarefas.

#### 5.2.2.2. Caracterización de la calidad del jamón

Para verificar las características y atributos relacionados con la calidad de jamón de cerdo Ibérico, se utilizaron las tecnologías de Cromatografía Gaseosa (CG) y NIRS. Varios estudios anteriores demostraron cómo la tecnología NIRS puede lograr este objetivo (García, 2002; Pérez-Juan et al., 2010; Zamora-Rojas, et al., 2012; Serrano et al., 2012). Para evaluar estas propuestas, se analizaron lotes y muestras individuales de grasa de cerdo ibérico.

Un total de 553 canales de cerdos Ibéricos pertenecientes a 38 lotes criados bajo diferentes sistemas de alimentación en diferentes explotaciones ganaderas de Córdoba (España) se muestrearon para clasificar el producto por CG y NIRS.

Las muestras de cada lote se empaquetaron y se sellaron en bolsas de plástico marcadas con el código de identificación del sacrificio. Estas muestras fueron analizadas en un laboratorio externo aproximadamente 48 horas después de ser recolectadas.

Cada muestra de tejido adiposo subcutáneo se dividió en 2 submuestras. La primera fue analizada por NIRS en su forma intacta (N = 553), mientras que la segunda se mezcló con el resto de muestras pertenecientes a animales del mismo lote (N = 38).

#### 5.2.2.3. Análisis por Cromatografía Gaseosa

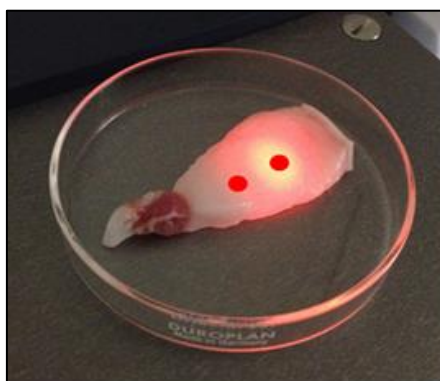
El perfil de ácidos grasos de cada muestra líquida media por lote (N = 38) se determinó mediante cromatografía de gases (CG). La muestra líquida media se obtuvo después de fundir el tejido adiposo subcutáneo en un microondas, siguiendo la metodología descrita por De Pedro et al. (1996) y García-Olmo et al. (2009). Las muestras de grasa líquida se analizaron por CG con una columna capilar para determinar el perfil

de ácidos grasos, según lo especificado por la norma UNE-EN ISO 5508: 1996. Se utilizaron un cromatógrafo BRUKER, equipado con muestreador automático 430-GC, una columna VF-23MS (longitud 60 m, 0,25 mm de diámetro, 0,25 mm de espesor) y un detector de ionización FID.

#### 5.2.2.4. Análisis NIRS

La muestra de grasa líquida media por lote utilizada para el análisis de CG (N = 38) se analizó simultáneamente mediante la tecnología NIRS utilizando el analizador Multi-Purpose FT-NIR (MPA) (Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Alemania). Para las mediciones de transmisión FT-NIR, las muestras de grasa líquida se vertieron en viales desechables de 8 mm. Todos los espectros se registraron por triplicado a 40°C después de un preacondicionamiento térmico durante 10 minutos en un termobloque para evitar soluciones turbias. Los espectros se obtuvieron en modo de transmisión de 12500 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Cada espectro se registró como promedio, en base a 32 exploraciones a una resolución de 8  $\text{cm}^{-1}$ .

Para las muestras individuales, se llevaron a cabo dos modos diferentes de análisis NIR. En primer lugar, todas las submuestras se analizaron utilizando una sonda de fibra óptica de 8 mm de diámetro (ref. IN261-2), trabajando en modo de interactancia-reflectancia y en la región espectral de 12500-4000  $\text{cm}^{-1}$  (cada 16  $\text{cm}^{-1}$ ). Se recogieron dos mediciones espectrales por muestra, como se muestra en la Figura 5.7, y se utilizó el promedio de ambos espectros para predecir la composición de ácidos grasos.



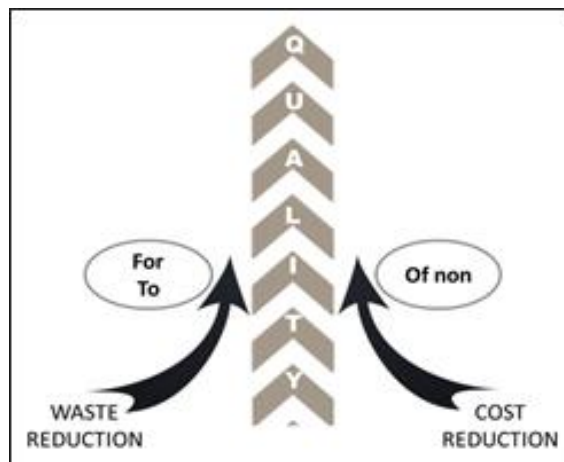
**Figura 5.7.** Recogida de espectros NIR en muestras de grasa intacta

En segundo lugar, cada muestra de grasa intacta se fundió, siguiendo la metodología descrita por De Pedro et al. (1996) y García-Olmo et al. (2009), y luego se analizó en el modo de transmisión descrito anteriormente para validar los resultados obtenidos del análisis de la muestra de grasa intacta con los resultados obtenidos de la muestra de grasa líquida.

### 5.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.2.3.1. Uso de herramientas *Lean* en el matadero

Lo más importante fue adaptar las técnicas *Lean* al proceso de producción de jamón y el cambio más significativo generado para disminuir las pérdidas productivas ha sido simplificar los objetivos y centrarse en la calidad (Figura 5.8).



**Figura 5.8** Reducción de costes y desperdicio mientras se pone el foco en la calidad.

Otro cambio ha sido la incorporación de la tecnología en el proceso. En este apartado, se ha evaluado las oportunidades para incorporar tecnología capaz de clasificar y gestionar adecuadamente la materia prima y su versatilidad para soportar cualquier cambio futuro.

Ambas herramientas *Lean* (*Kaizen* y VSM) se aplicaron al matadero, que es una industria con poca variedad y un alto volumen de producción. Como era de esperar, se obtuvieron buenos resultados y se demostraron y acreditaron amplios beneficios a la aplicación universal de estos sistemas, siguiendo a Abdulmalek et al. (2006). Fue posible y fácil aplicar las técnicas *Kaizen* y VSM en el matadero para identificar y analizar las posibles pérdidas productivas durante el proceso.

#### 5.2.3.2. Método *Kaizen*

En el contexto actual, los clientes están exigiendo cada vez más al equipo del matadero minimizar el tiempo de respuesta en relación al perfil de ácidos grasos totales (AGT) para la posterior clasificación de la materia prima. El método *Kaizen* demostró que el flujo de información debe ser lo más rápido posible para cumplir con estos plazos y clasificar y gestionar las materias primas durante el proceso de salazón. Por lo tanto, se evitan así posibles alteraciones durante la fase de salazón, mejorando la eficiencia de este proceso al ajustar el tiempo del ciclo (Fullerton et al., 2001).

Normalmente, en condiciones de producción real, la información recopilada sobre el perfil de ácidos grasos no se incorpora al proceso de fabricación en tiempo real, aunque éste sería un paso importante para satisfacer las necesidades de los clientes y dar un valor añadido al producto. También es un aspecto clave en el uso de la tecnología *lean*, como lo señalan Jones y Womack (2013) y Fullerton et al. (2001).

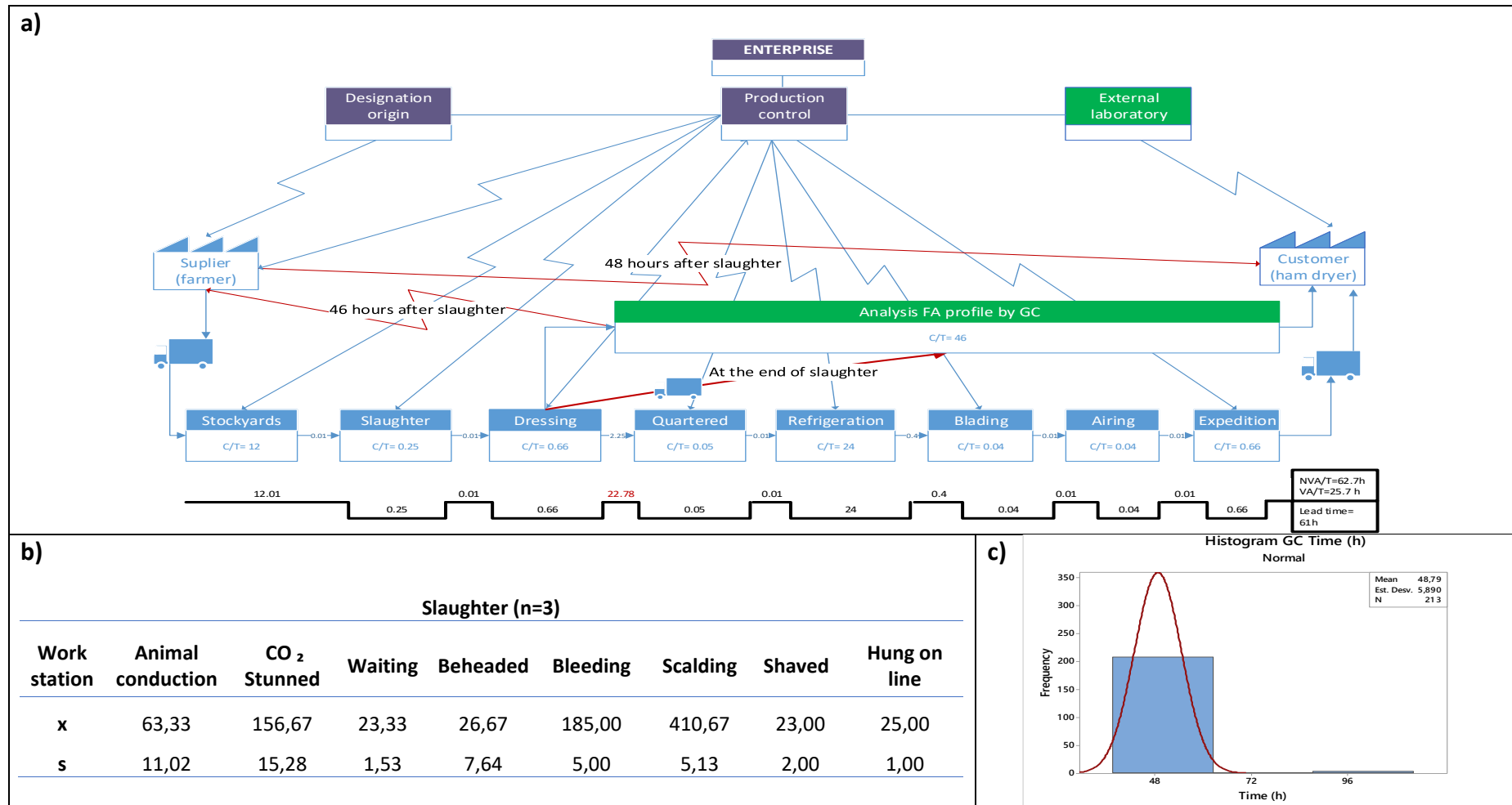
Con el método *Kaizen*, se observaron tres fuentes diferentes de desperdicio: el tiempo de espera hasta obtener los resultados analíticos del perfil de AG (clasificación), el largo período de salazón, que a veces es innecesariamente largo debido a la falta de conocimiento del perfil de AG del producto, y los defectos en la calidad del producto terminado debido a la cantidad de días pasados en el proceso de salazón.

Actualmente, las diferentes formas de obtener resultados más rápidos para la clasificación de la materia prima incluyen la mejora de los procesos en matadero,

especialmente en la zona de despiece, o simplemente la aplicación de pequeños cambios en los métodos y especificaciones del proveedor.

#### 5.2.3.3. Mapa de flujo de valor (VSM)

El VSM se llevó a cabo para describir las estaciones de trabajo específicas y las personas involucradas en el flujo de información para clasificar la calidad. Usando esta herramienta, se analizó cada caso y se evaluaron las diferencias entre los estados actuales y los posibles estados futuros, de acuerdo con las propuestas planificadas. El VSM se aplicó en el matadero de manera similar a las industrias *lean* tradicionales, pero teniendo en cuenta el comportamiento dinámico de los procesos de producción, como lo recomiendan algunos autores (Abdulmalek et al., 2006; Tanco et al., 2013).



**Figura 5.9.** Flujo del proceso actual. (a) VSM estado actual, (b) variación de tiempo en el sacrificio, (c) histograma de frecuencia *lead time* CG. \*Tiempo de ciclo (C/T), Tiempo de valor añadido (VA/T), Tiempo de valor No añadido (NVA/T).

Como se muestra en la Figura 5.9, en el estado actual, los animales provienen de una empresa de suministro interno que es responsable de organizar el sacrificio por lotes. Como la línea de sacrificio es automática y el trabajo continúa a una velocidad constante de 190 canales por hora, las variaciones de tiempo más importantes son aquellas que afectan a las actividades que ocurren antes de que el animal alcance la línea de sacrificio. La sincronización de las tareas que conforman el período de sacrificio y la forma en que varía se muestran en la Figura 5.9b. Las etapas posteriores se han resumido en los datos promedio producidos por el VSM, que son fácilmente reproducibles, ya que ahora forman parte de la cadena de producción.

Cuando los animales estaban en el despiece, se tomaron muestras de grasa siguiendo las reglas de los comités de Denominación de Origen del Cerdo Ibérico (BOE, 2004).

Las muestras se enviaron al laboratorio externo y, dos días después, los resultados se obtuvieron mientras el producto continuaba con su proceso. Esta información fue respaldada por el proveedor personal, que fue responsable de confirmar la clasificación de los animales, rellenar documentos y enviar información a los secaderos de jamón (el "cliente" en términos *lean*).

Veinticuatro horas después del sacrificio, los jamones fueron enviados desde el matadero: este es el momento en que el perfil de AG debe estar disponible para los "clientes". En la situación actual, el tiempo de espera para la información y el flujo de material es de 61 horas (esto se refiere al lote promedio y no a cada jamón).

Debido a la variabilidad habitual del tiempo de entrega, se construyó un histograma de frecuencia sobre los datos históricos para el tiempo de respuesta del análisis de CG. Los resultados en la Figura 5.9c muestran que la mayoría de los resultados se completan en 48 horas, algunos en 72 horas y otros en 92 horas.

La industria del jamón necesita la información sobre el perfil de AG antes de que el matadero realice su clasificación por peso. De esta manera, cuando la industria recibe

los jamones, pueden organizar y preparar sus productos en lotes de acuerdo con el proceso de salazón específico que requiere cada jamón individualmente, que depende no solo del peso sino también del contenido y la composición de grasa. Esto proporciona un valor añadido para los clientes.

El tiempo de entrega actual de 61 horas es, por lo tanto, mayor que lo que necesita el cliente. Claramente, hay espacio para mejorar el flujo de información para el perfil de AG desde el despiece hasta la recepción por parte del cliente. Según trabajos previos, las principales diferencias en el perfil de ácidos grasos se pueden encontrar en animales que pertenecen al mismo lote, porque en la producción extensiva de cerdos ibéricos, la dieta se basa en los recursos naturales disponibles en el campo. Esto puede derivar en una falta de uniformidad en la composición química de las muestras de grasa (Zamora-Rojas et al., 2013) como se muestra en los lotes de animales utilizando datos analizados al 100%, donde se evidencia una alta variabilidad.

Si se analiza cada categoría, se observan valores de media ( $\bar{x}$ ) y de desviación típica ( $s$ ) diferentes de la distribución de datos para cada grupo:  $\bar{x} = 48,02$  y  $s = 1,98$ ;  $\bar{x} = 52,14$  y  $s = 2,31$ ; y  $\bar{x} = 54,77$  y  $s = 1,60$ , para “Cebo”, “Cebo Campo” y “Bellota”, respectivamente. Cada grupo se comporta de manera diferente con respecto a la media y el rango de la distribución, que muestran una alta variabilidad en las muestras de cada categoría. Por este motivo, el cambio en el método de análisis no solo ha reducido el tiempo de entrega, sino que también ha mejorado la clasificación individual de los cerdos, con el resultado de una mejor gestión en la operación de salazón.

Esto brindó la oportunidad de cambiar el método de muestreo, ya que con frecuencia se cometieron errores cuando se utilizó el muestreo por lotes promedio para analizar los datos.



#### 5.2.3.4. Propuestas de mejora

Como resultado de la evaluación del proceso y la discusión del método *Kaizen*, se introdujo un cambio en la técnica utilizada para determinar la clasificación por calidad. También se identificó el mejor método de muestreo para los lotes.

El flujo de información para la clasificación de la calidad y el proceso en sí pueden mejorarse de tres maneras: i) mejorando el tiempo de espera al cambiar el método de análisis para las muestras de grasa fundida de cromatografía de gases a análisis NIR; ii) utilizando una nueva metodología de muestreo para el análisis NIR del lote a las muestras de grasa individuales; y iii) aplicando la tecnología NIR para el análisis en línea de las muestras de grasa intactas.

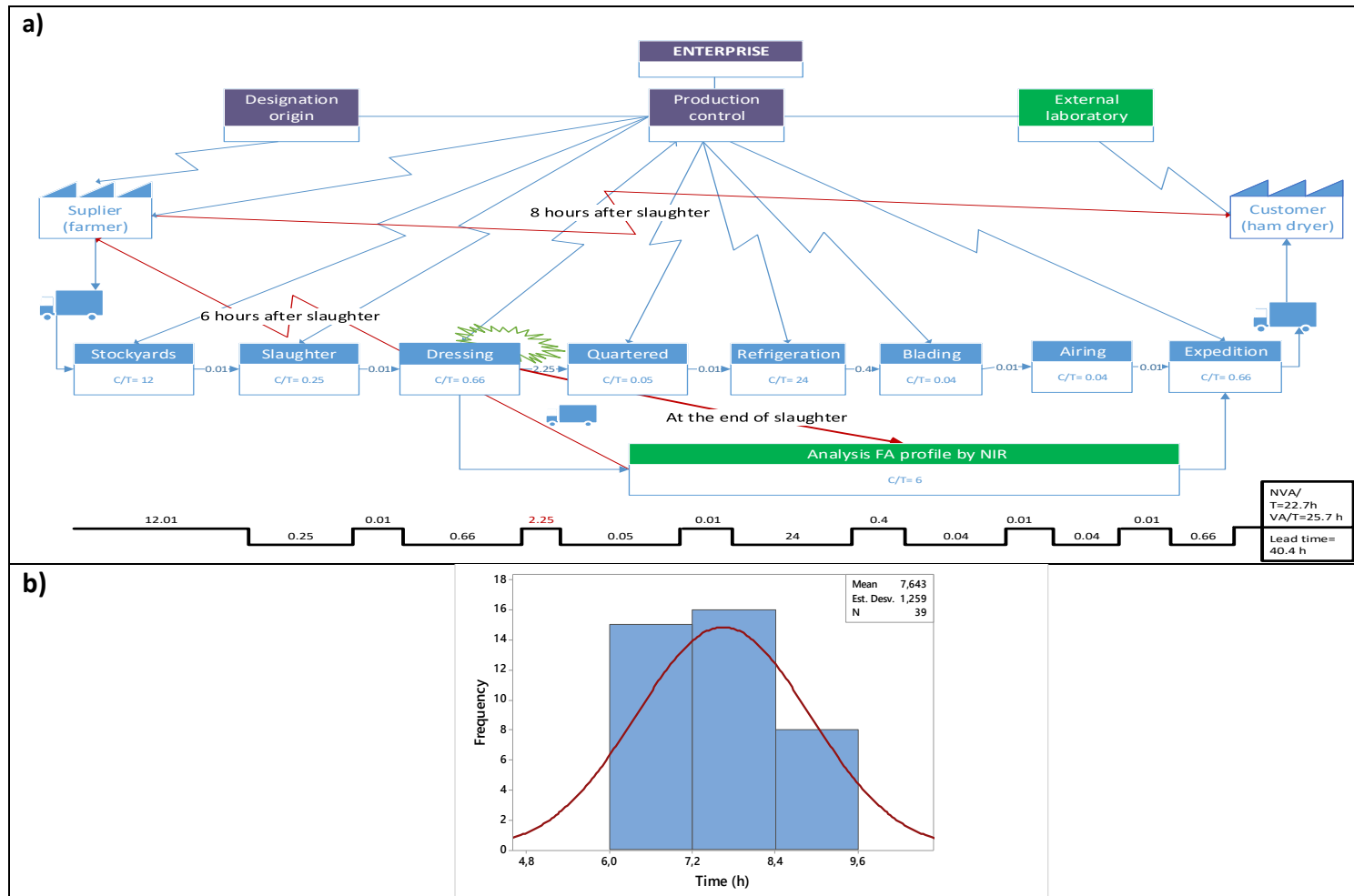
#### 5.2.3.5. Cambio del método de análisis: de CG a NIRS análisis por lotes

Después de identificar los requisitos de los clientes, el objetivo era reducir el tiempo de espera, ya que el flujo de información era más largo de lo que permitían las necesidades del cliente utilizando el método tradicional. El personal del matadero pidió al equipo de laboratorio responsable de los análisis de clasificación, que aplicaran un nuevo método analítico. Los técnicos propusieron la tecnología NIRS como alternativa, ya que experiencias previas demostraron que era rápida y los resultados fiables. El nuevo objetivo era ser más eficiente al suministrar la información para optimizar la fase de salazón en el proceso de producción de jamón.

El flujo y el nuevo mapa del proceso se muestran en la Figura 5.10, y el análisis del tiempo de respuesta se muestra en un histograma de frecuencia basado en los datos experimentales del análisis de lotes por NIRS (Figura 5.10b). El histograma muestra que el tiempo medio para el análisis completo del tiempo de respuesta es de 8 horas, con lo que el tiempo de ciclo y el desperdicio para esta actividad se reducirían (Fullerton et al., 2001).

Esta mejora implicó simplemente cambiar el método de análisis utilizando el análisis NIRS para procesar cada muestra de lote. Sin embargo, el análisis de cada muestra de lote por NIRS implica la necesidad de la preparación previa de las muestras, al igual que aquellas que se hicieron usando el método cromatográfico (donde la grasa se corta, se derrite y se filtra); en este caso, la metilación y los pasos subsiguientes no fueron necesarios.

Además, después de la aplicación de la técnica VSM, se realizó una comparación de las Figuras 5.9 y 5.10 para revisar el tiempo de entrega, lo que demuestra que se necesitó menos tiempo para completar el proceso y que no se identificaron operaciones eficientes aplicando los conceptos de *Lean Management* a eliminar el desperdicio (Fullerton et al., 2001; Rahani y Muhammad, 2012; Chen et al., 2013; Khanchanapong et al. 2014).



**Figura 5.10.** Mejora del *lead time* (cambio de la técnica de análisis de CG a NIRS en grasa fundida). (a) VSM estado futuro, (b) histograma de frecuencia *lead time* NIRs lote. \*C/T= Tiempo de ciclo; VA= Valor añadido; NVA/T= Valor No añadido.

Cuando se predijo el perfil de AG usando NIRS, el tiempo de flujo de información se redujo de un promedio de 46 horas (muestras procesadas por CG) a 6 horas (muestras procesadas por tecnología NIR), medido por un cronómetro (86% menos que en la actualidad). En consecuencia, el tiempo total de entrega se redujo de 61 h en el estado actual (Figura 5.9) a 40 h (Figura 5.10) y al usar tanto la gestión *lean* como el NIRS, el tiempo de aplicación en línea se reduce en un 35%.

#### 5.2.3.6. Cambio del método de análisis: de lotes a muestras individuales por NIR

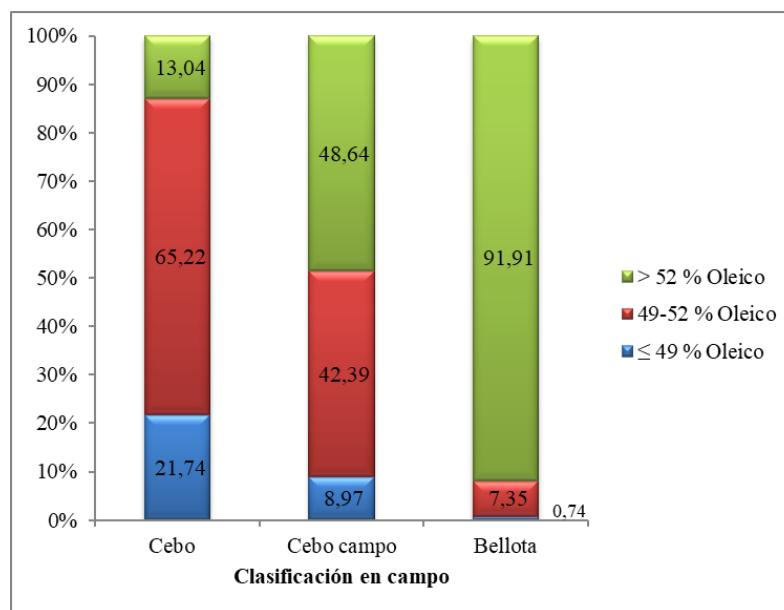
La segunda propuesta involucró el análisis de cada muestra de grasa intacta individual utilizando la tecnología NIRS. Esto se logró mediante el uso de un instrumento NIR rápido y no destructivo para las muestras de grasa intactas, proporcionando así a la industria del jamón una respuesta instantánea para tomar decisiones y ayudar a organizar el proceso de salazón por lotes del producto.

En este caso, el flujo del proceso fue el mismo que el utilizado en la primera propuesta (Figura 5.10), sin embargo, el tiempo de entrega fue incluso más corto porque no fue necesario la preparación previa de las muestras para el análisis NIR, con lo que el tiempo total necesario para analizar todas las muestras en la segunda propuesta fue menor que en el estado actual y en la primera propuesta.

Al analizar los lotes por categorías (Figura 5.11), se evidenció que, en la clasificación asignada en la granja, a cada lote de muestras se les dio un porcentaje similar de ácido oleico ( $\leq 49\%$ ,  $49-52\%$ ,  $> 52\%$ ). Por lo tanto, se puede ver que, en algunas muestras, la categoría fue sobreestimada o subestimada, pudiendo generar desperdicio, lo que lleva a un procesamiento que no tiene en cuenta de manera precisa las condiciones del producto.

Se puede observar, en la Figura 5.11, que, si bien la distribución porcentual en un lote de “Cebo” es heterogénea, el 78% de las muestras excede el porcentaje esperado

de ácido oleico dentro de la categoría. En los lotes de "Cebo campo", aproximadamente el 9% y el 49% de las muestras están por debajo o por encima del valor esperado de ácido oleico, respectivamente. En el caso de los lotes de "Bellota", la distribución porcentual es más homogénea, con casi el 92% de las muestras sobre las concentraciones esperadas de ácido oleico.



**Figura 5.11.** Distribución de las muestras dentro del lote

Esta heterogeneidad de los lotes sugiere que es una posibilidad relativamente fácil de manejarlos incorrectamente en la industria, debido a la composición variable del perfil de ácidos grasos. Para todos los lotes analizados en este estudio, la probabilidad de error es mayor en la categoría "Cebo", con lo que respecta a la clasificación oficial en la granja ( $n = 4$  lotes), con una probabilidad de error de 0,72, seguida de las categorías "Cebo campo" ( $n = 31$  lotes) y "Bellota" ( $n = 3$  lotes), con una probabilidad de error de 0,62 y 0,12 respectivamente, lo que significa que la categoría "Bellota" tiene la menor probabilidad de error.

Los resultados obtenidos evidencian que es muy probable que exista un grado de equivocación cuando la clasificación obtenida a partir de la muestra media de un lote se utiliza para decidir un tratamiento o proceso tecnológico particular sin tener en cuenta las características individuales de cada pieza; esto puede llevar a asignar

procesos incorrectos de salazón a los jamones y paletas individuales de cerdo Ibérico, originando variabilidad en el producto final y la aparición de un posible desperdicio debido a defectos de calidad, por ejemplo, la descomposición del jamón durante el proceso de curado, según lo explicado por Serra et al. (2005) y Toldrá (2005). Todos estos errores resultan en una pérdida de tiempo y productividad durante el proceso (De Steur et al., 2016).

Los resultados muestran que en las propuestas 1 y 2, el matadero podría integrar con éxito la gestión *Lean* con la tecnología NIR para satisfacer los requisitos de los clientes, como se sugiere en el caso de otras tecnologías (Alas, Zernand-Vilson y Vadi, 2012; Chen et al., 2013; Khanchanapong et al., 2014).

#### 5.2.3.7. Cambio del análisis NIR al análisis NIR en línea

Un paso lógico adicional para adoptar la nueva tecnología sería incorporar el análisis NIR en línea. En este caso, sería posible el análisis en tiempo real de las muestras, con flujos más rápidos de material e información (Figura 5.12) para una clasificación rápida (Zamora-Rojas et al., 2013).

Haciendo una simulación del proceso real, se podría realizar un muestreo en línea mediante el cual cada animal se analizaría individualmente con un tiempo promedio por análisis de aproximadamente 3 minutos. También reduciría el desperdicio relacionado con el transporte, ya que las muestras no tendrían que enviarse a un laboratorio externo, solo muestras puntuales para optimizar la calibración del equipo. Los jamones solo tendrían que esperar lo que durara el proceso normal de sacrificio, antes de que se entregaran al cliente: en este caso, el tiempo de entrega sería de aproximadamente 40,5 h, aumentando la flexibilidad de producción según lo establecido en Buehlmann y Fricke (2016).

En resumen, el uso integrado de la tecnología *lean* ha permitido evaluar el potencial y el impacto de incorporar todos los avances existentes en la tecnología NIR, como medir las características del producto original en la cadena de producción y

evaluar las posibles alternativas, características, número de dispositivos, y otros. Con todo, estos avances podrían mejorar significativamente la eficiencia y la seguridad del proceso de producción de los jamones.

Esta propuesta también implica la inversión en equipos y sistemas informáticos para procesar la información y mantener la trazabilidad.

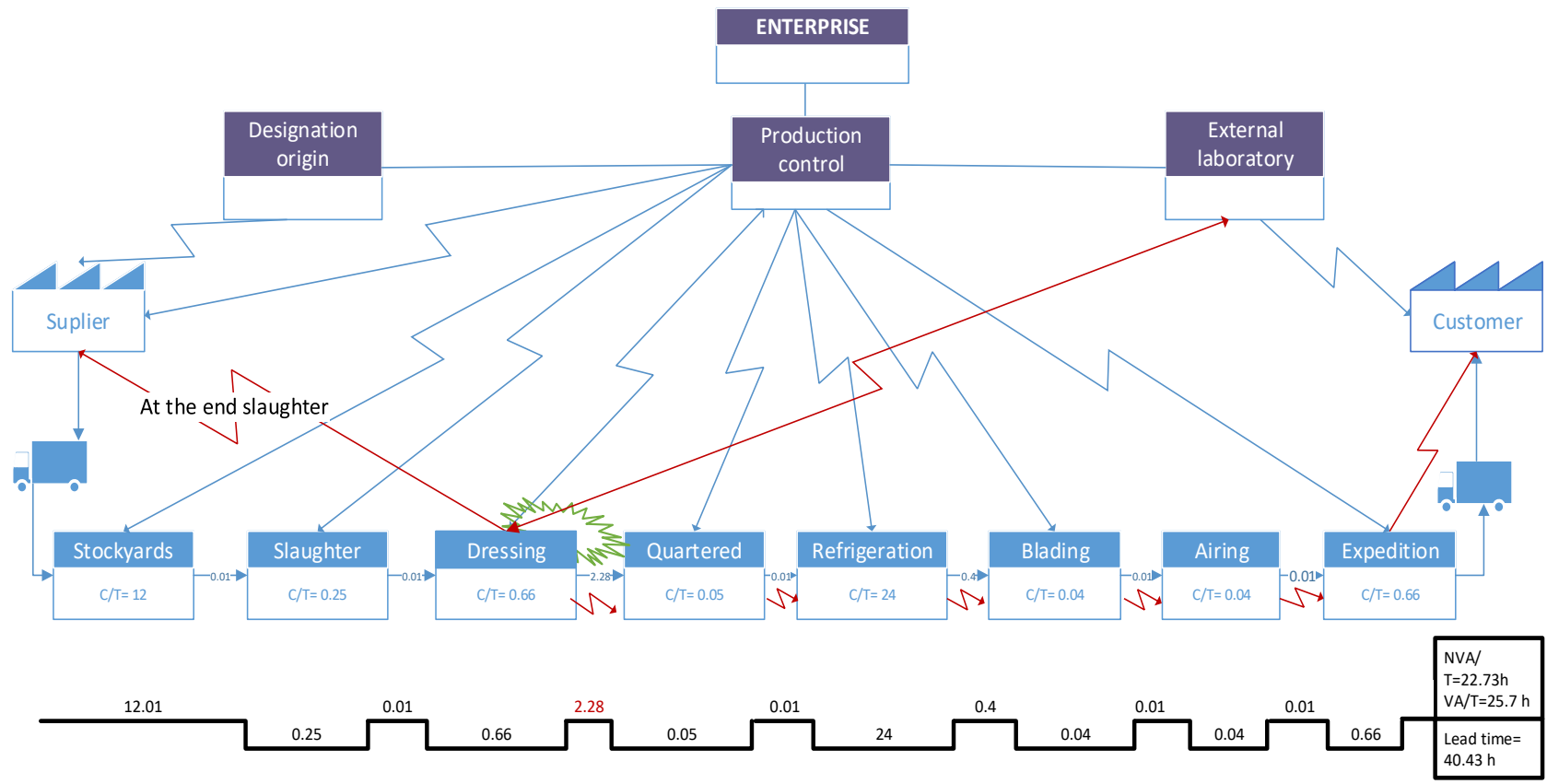


Figura 5.12. Mejora del *lead time* (posible cambio al análisis on-line). \*C/T= Tiempo de ciclo; VA= Valor añadido; NVA/T= Valor No añadido.



### 5.2.3.8. Evaluación de las mejoras

Cuando los cerdos Ibéricos son sacrificados, el perfil de ácidos grasos se analiza para el control interno. Como se muestra en las secciones anteriores y el flujo de proceso solicitado por el cliente, los métodos propuestos para el análisis del perfil de AG podrían ofrecer ventajas competitivas.

Para evaluar la mejora, se ha comparado las propuestas mencionadas anteriormente con la clasificación comercial actual.

Comparando CG y NIRS, las clasificaciones muestran pequeñas diferencias, como se comentó anteriormente, el error entre el análisis de grasa fundida y el análisis de muestras intactas analizadas por NIRS es de 0,32 y 0,85, respectivamente. Estos fueron más altos que los obtenidos por la alternativa actual (error CG: 0,25), pero cuando se considera el error total, la diferencia no es muy grande (error de muestreo incluido), lo que concuerda con lo expresado por Zamora-Rojas et al. (2013).

El tiempo promedio de análisis se reduce de 46 h (lote de grasa fundida por NIRS en línea) a 0,05 h (muestras intactas de NIRS en línea), lo que permite una entrega más rápida de los resultados del análisis y la clasificación de los lotes antes de que se lleve a cabo el proceso de salazón.

Para que las herramientas de análisis en línea a tiempo real sean más consistentes y efectivas, es necesario aumentar el número de muestras utilizadas en el conjunto de calibración, ya que cuanto mayor sea la variabilidad considerada, mejor será la capacidad de predicción.

El coste de la introducción de NIRS en línea depende de las características del equipo y la calibración instalada. Como referencia, el coste podría estimarse en 75.000 euros (incluidos el equipo utilizado en el presente estudio, la calibración / validación y el mantenimiento). Con una amortización de la inversión en 10 años, el coste sería de 7.500 euros al año, lo que representa para cada campaña el 64% del coste de analizar

los lotes a través de NIR y el 40% del coste de analizar el lote a través de CG, ambos realizados en un laboratorio externo.

En la industria, incorporar la medición en línea es una opción viable, pero tiene repercusiones en el proceso de clasificación antes de la expedición, ya que el sistema informático ahora debe destinar el producto a las diferentes categorías no solo de acuerdo con el peso, sino también de acuerdo con el porcentaje de ácidos grasos.

Para los clientes que suelen consumir productos alimenticios de alta calidad, es esencial ofrecer productos homogéneos. Sin embargo, esto es imposible si los mismos procesos y tratamientos se aplican a la materia prima con diferentes perfiles de ácidos grasos. Las principales diferencias entre los animales (ganado extensivo) pueden deberse a una ingesta irregular de bellotas (Zamora-Rojas et al., 2013), lo que significa que se debe hacer un esfuerzo para aplicar un análisis individual.

Para revisar las propuestas con criterios *lean*, en la Tabla 5.11 se resume una evaluación subjetiva de los desechos producidos en la situación actual, así como las propuestas radicales para usar esta tecnología. El impacto en el desperdicio se ha evaluado en una escala de 1 a 3, con 1 impacto muy bajo y 3 impacto alto. Al comparar los 7 típicos desperdicios, está claro que la opción NIRS *on-line* para análisis individuales es la opción que ofrece los mayores beneficios.

**Tabla 5.11.** Contribución de la tecnología a reducir el desperdicio

<b>Aspectos <i>lean</i> (7 típicos desperdicios)</b>	<b>Estado actual (CG clasificación por lote)</b>	<b>NIR <i>at-line</i> análisis (Análisis por lote)</b>	<b>NIR <i>on-line</i> análisis (Análisis individual)</b>
Transporte	1	1	3
Inventario	1	3	3
Movimientos	1	1	2
Demoras	1	2	3
Sobre producción	1	1	1
Sobre procesamiento	1	3	3
Defectos	1	3	3
<b>Contribución Total</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>18</b>

Con respecto al transporte, tanto el análisis de lotes por CG como por el NIR tienen menos impacto que la propuesta en línea, ya que las muestras deben transportarse a un laboratorio externo para su análisis. Sin embargo, con la opción en línea, solo sería necesario tomar la medida de la canal. No obstante, la eliminación del transporte no es una prioridad, la tecnología de lotes NIR, llevada a cabo con la administración y tecnología de productos adecuadas, cumpliría los requisitos del cliente (Riezebos y Klingenberg, 2011).

En lo que respecta al almacenamiento de jamones en cámaras de refrigeración, deben almacenarse durante 24 horas después del sacrificio. Si se esperan los resultados del análisis de CG, los inventarios se duplicarán en el matadero. Por lo tanto, estos inventarios podrían mejorarse utilizando el análisis NIR propuesto at línea y on-line, para reducir el desperdicio, como lo sugieren Chen et al. (2013).

En la situación actual, o en las muestras de lotes NIR que se toman de la misma manera, estas propuestas no tendrían ningún efecto importante en los movimientos del operador. En el caso hipotético de un análisis NIR en línea, no se toman muestras, pero las canales se analizan directamente.

Con respecto al tiempo de espera, las ventajas son progresivas entre un método y otro, debido a un tiempo de espera reducido para cada método de análisis. El tiempo que toma un análisis usando estos tres métodos es de 46, 6 y 0,5 horas para los métodos GC, NIR at-line y NIR on-line, respectivamente. Entonces, como Cuatrecasas et al. (2011) sugiere, la mejora en el proceso se puede apreciar en el ajuste en el tiempo de ciclo del análisis, lo que le da un valor añadido al cliente.

En cuanto a la sobreproducción, ninguna de las propuestas muestra ninguna diferencia con respecto a la situación actual. Contrariamente al caso anterior, el desperdicio involucrado en el procesamiento excesivo ha llevado a un cambio importante en las propuestas. Si la condición real de la materia prima es desconocida y la sal de los jamones se maneja incorrectamente, se pueden producir defectos. Si no se considera la proporción de peso y contenido de ácidos grasos en cada jamón, el producto final será demasiado salado, lo que es un defecto importante en los jamones de cerdo ibérico por su nivel de calidad sensorial, así como una inversión innecesaria de tiempo y dinero.

Si el proceso de salazón es inferior al recomendado, los residuos se pueden encontrar en etapas futuras, ya que el proceso de secado será más lento y no se podrá terminar, lo que aumentará los costes, ya que los defectos pueden afectar la seguridad y la calidad (textura, sabor, sabor y color) del producto final (Martuscelli et al., 2017).

Los resultados de este trabajo también son aplicables transversalmente a los mataderos de cerdos ibéricos, que, según las cifras reportadas por ASICI, representan el 14% de los 386 mataderos en España (AESAN, 2017), y ciertamente existen otras oportunidades de sinergia para analizar y explorar entre la tecnología *lean* y otras tecnologías en el sector alimentario.

### 5.3. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

De los diferentes ensayos realizados en el presente capítulo se puede concluir:

1. La aplicación de herramientas de mejora continua ofrece una metodología para la ejecución ordenada del análisis del problema, sin dejar aspectos sin considerar.
2. La filosofía *Lean management*, más allá de reducir desperdicios, proporciona mejoras en los procesos máxime si se apoya en herramientas tecnológicas para medir objetivamente un proceso; sólo en estos casos se llegarán a conseguir resultados de éxito.
3. No se trata de evitar inversiones y reingeniería, se trata de agotar todas las variables que se pueden mejorar y, si se hace necesario realizar inversión, ofrecer las garantías para que esta no se convierta en un desperdicio.
4. La combinación de diferentes herramientas de gestión *Lean* dirigidas exclusivamente a mejorar la calidad, como los métodos *Kaizen* y *VSM*, con la espectroscopia NIR como herramienta de soporte tecnológico, ha permitido reducir el tiempo de entrega y mejorar la clasificación de muestras individuales.
5. Con el apoyo tecnológico es posible mejorar la gestión de la materia prima en los diferentes procesos de salado, reduciendo así el desperdicio a través de la sobreproducción y los defectos en el producto final, lo que conducirá a un mejor uso de los recursos, la eficiencia y abrirá las puertas a la innovación necesaria.
6. Reducir los costes y el desperdicio cuando se pone el foco en la calidad en la industria alimentaria, es necesario para asegurarse que las variables más importantes en este tipo de industria se mantienen vigiladas, ya que agregan valor a los clientes.

7. Aunque se necesita más trabajo para reducir el desperdicio en la industria del cerdo ibérico basado en la tecnología NIRS, esta propuesta es ciertamente aplicable a otros mataderos de cerdo Ibérico, así como a todo el sector de producción de carne.

## **CAPÍTULO 6. REFLEXIONES FINALES**

La trayectoria laboral de la autora de la presente Tesis Doctoral transcurre a través de una serie de experiencias en el campo de la industria agroalimentaria, partiendo por la incursión en la empresa General Mills de Venezuela, una empresa multinacional con origen en los Estados Unidos de América, y con una filosofía de trabajo fuertemente arraigada a los principios de la calidad y a la mejora continua de procesos. Posteriormente continúa su recorrido profesional pasando por la empresa Nanta de Venezuela, una empresa del grupo multinacional Trouw nutrition, cuyo paso estuvo muy marcado por la comprensión del funcionamiento de los sistemas más pequeños y la necesidad de responder de la misma forma que los grandes a las fuertes exigencias de calidad y productividad que las empresas de mayor dimensión. Seguidamente, comienza a tener experiencias con el sector Alimentario español, debido a la proyección y perspectiva que le permite la realización de la Tesis Doctoral en un centro de investigación y calidad agroalimentaria en España, que le ha permitido tener un conocimiento más profundo en una Cooperativa ganadera que desde diferentes industrias (transformación cárnica, industria del cerdo Ibérico, industria de producción de leche e industria de elaboración de mantequilla), abre las puertas a la mejora continua de procesos.

Este recorrido, aunado al proceso reflexivo que ha implicado la elaboración de la presente Tesis doctoral, le ha ofrecido la oportunidad enriquecedora de trabajar,

observar y analizar, aspectos del desempeño de la mejora de procesos y del sector agroalimentario que solemos encontrar en los libros, incluso desde una perspectiva como máximo responsable de un negocio.

A continuación, se enumeran algunos aspectos que se han considerado importante mencionar:

- El liderazgo de dirección radica en hacer llegar la importancia desde arriba y hasta abajo, teniendo el firme criterio de que la base son los cimientos de todo lo edificado, y que el liderazgo es un proceso frágil y continuo, con una carga muy importante de comunicación.
- El liderazgo del responsable de implantación es, en esencia, saber comunicar en todos los idiomas, pero fundamentalmente en el idioma de la empatía. Ver a través de la situación particular de cada uno de los que le rodean, tiene una importancia estratégica, y saber interpretar la información que recibe es estratégico para saber cuando y que tipo de decisiones tomar.
- No todo se encuentra en las manos de los responsables y líderes, la motivación del operador ligada al éxito de las dos anteriores, es otro aspecto destacable del sistema. Se necesita personas capaces de responder a los estímulos, de integrarse ante las iniciativas, de creer que es posible cambiar, y en gran parte los líderes deben despertar ese pensamiento, pero el individuo debe trabajar su capacidad individual para lograrlo.
- Los recursos humanos del equipo, el valor de la diversidad profesional es una herramienta fundamental en el grado de consecución, de ahí que no se debe excluir a nadie de un equipo de mejora.
- Cada empresa se comporta como un individuo único, las herramientas lean se pueden ir mejorando con la experiencia, incluso recomendar aspectos en base a esa experiencia, pero la aplicación o el cómo aplicarlas en cada una será diferente,



y deberá ser adaptada a la ideología de trabajo de cada una de ellas, luego la meta es la misma, generar valor.

- Lean es una filosofía que tiene como objetivo principal reducir los costes eliminando el desperdicio, entendiendo por desperdicio todo lo aquello que suma costes y no aporta valor al consumidor o usuario final. Bajo este esquema y utilizando los métodos de análisis recomendado, todo puede ser útil y convertirse en una herramienta de mejora. No es lean una receta; es la posibilidad ordenada de hacer mejoras ajustadas a cada escenario en particular.

Junto con los trabajos científicos descritos en esta Tesis concluimos a modo de resumen:

1. La aplicabilidad y los resultados de la manufactura *lean* en la industria procesadora de alimentos sigue siendo un tema discutible en el que la academia mantiene diferentes hipótesis.
2. El grado de utilización de las prácticas *lean* en empresas agroalimentarias andaluzas es bajo.
3. La aplicación de herramientas de mejora continua ofrece una metodología para la ejecución ordenada del análisis del problema, sin dejar aspectos sin considerar.
4. La filosofía *Lean management*, más allá de reducir desperdicios, proporciona mejoras en los procesos máxime si se apoya en herramientas tecnológicas para medir objetivamente un proceso; sólo en estos casos se llegarán a conseguir resultados de éxito.
5. No se trata de evitar inversiones y reingeniería, se trata de agotar todas las variables que se pueden mejorar y, si se hace necesario realizar inversión, ofrecer las garantía para que esta no se convierta en un desperdicio.

6. La combinación de diferentes herramientas de gestión *Lean* dirigidas exclusivamente a mejorar la calidad, con herramientas de soporte tecnológico, reducir los costes y el desperdicio cuando se pone el foco en la calidad en la industria alimentaria, es necesario para asegurarse que las variables más importantes en este tipo de industria se mantienen vigiladas, ya que agregan valor a los clientes.

## CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abdulmalek Fawaz A., Rajgopal Jayant & Kim LaScola Needy. 2006. A Classification Scheme for the Process Industry to Guide the Implementation of Lean. *Engineering Management Journal*, 18, 2.
- Abdulmalek FA, J Rajgopal. 2007. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study.
- Ahuja, R., Sawhney, A., y Arif, M. 2018. Developing organizational capabilities to deliver lean and green project outcomes using BIM. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(10), 1255-1276.
- Alas, R., M. Zernand-Vilson & M. Vadi (2012) Management techniques in Estonian organizations: learning organization and business process reengineering. *World Conference on Business, Economics and Management*, 62, 494-498.
- Anderson, M. J.; Blanton, J. R., Jr.; Gleghorn, J.; Kim, S. W.; Johnson, J. W., 2006. Ascophyllum nodosum supplementation strategies that improve overall carcass merit of implanted english crossbred cattle. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 19 (10): 1514-1518
- Angel Martinez Sánchez, Manuela Pérez Pérez, (2001) "Lean indicators and manufacturing strategies", *International Journal of Operations & Production Management*, 21: 11, 1433-1452.
- Arlbjørn J. and Freytag P. 2013. Evidence of lean: a review of international peer-reviewed journal articles. *European Business Review*, 25:2, 174-205.

- Ballesteros, P. 2008. Algunas reflexiones para aplicar la manufactura esbelta en empresas colombianas. *Scientia et Technica*, 38, 223-228.
- Barraza, M., Smith, T., Dahlgard-Park. 2008. Lean-kaizen public service: An empirical approach in Spanish local governments. 2009. *TQM Journal*, 21 (2), 143-167.
- Bauernhansl, T., Hompel M., and. Vogel-Heuser, B. 2014. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien und Migration*. Bonavia, T., Marin-Garcia, J.A. 2011. Integrating human resources management into their impact on organizational performance. *International Jopurnal of Manpower*, 32(8), 923-938.
- Borges R., Freitas F, Sousa I. 2015. Application of Lean Manufacturing Tools in the Food and Beverage Industries. *Journal of Technology Management & Innovation*, 10 (3).
- Bose, I., Pal, R. (2005). Auto-ID: managing anything, anywhere, anytime in the supply chain. *Communications of the ACM*, 48 (8), 100-106.
- Brauner, P., y Ziefle, M. (2015). *Human Factors in Production Systems*. *Advances in Production Technology*, Springer International Publishing, 187-199.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International. Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 8(1), 37-44.
- Brewer S, Wilson J, McKeith F. 2002. The effect of pig genetics and palatability, colorant physical characteristics of fresh loin chops. *Meat Sci*; 61: 249-256.
- Caballero-Gil, C., Molina-Gil, J., Caballero-Gil, P., Quesada-Arencibia, A. 2013. IoT Application in the Supply Chain Logistics. *Computer Aided Systems Theory- EUROCAST 2013*, Springer Berlin Heidelberg, 55-62.
- Camarotto, J , Vanalle, R. 2015. Production organization and work aspects in companies of the automotive sector in Spain and Brazil. *Espacios*, 36 (18), 10.
- Cannata, A., Gerosa, M., Taisch, M. 2008. SOCRADES: A framework for developing intelligent systems in manufacturing. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2008) Singapore*. 1904-1908.
- CCOO Industria. 2017. *Situación de la industria y evolución de la economía española*. Secretaría General CCOO de Industria.

- Challis, D., Samson, D., Lawson, B., 2002. Integrated manufacturing, employee and business performance: Australian and New Zealand evidence. *Int. J. Prod. Res.* 40 (8), 1941–1964. Chan y Smith.
- Chen, J. C., Cheng C.-H., Huang, P. B., Wang, K.-J., Huang, C.-J., Ting, T.-C. 2013. Warehouse management with lean and RFID application: a case study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69, 531-542.
- Cox A., Chicksand D. 2005. Limits of Lean Management Thinking: Multiple Retailers and Food and Farming Supply Chains. *European Management Journal*, 23(6), 648-662.
- Crema, M., Verbano, C. 2015. How to combine lean and safety management in health care processes: A case from Spain. *Safety Science*, 79, 63-71.
- CUATRECASAS, L. (2010). *Lean Management: La gestión competitiva por excelencia*. Barcelona. España. PROFIT editorial.
- Mast, J. (2004). A methodological comparison of three strategies for quality improvement. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21 (2), 198-213.
- De Steur, H., J. Wesana, M. K. Dora, D. Pearce & X. Gellynck. 2016. Applying Value Stream Mapping to reduce food losses and wastes in supply chains: A systematic review. *Waste Management*, 58, 359-368.
- Wan, H, Chen, F. 2009. Decision support for lean practitioners: A web-based adaptive assessment approach. *Computers in Industry* 60, 277–283.
- Hoellthaler, G., Braunreuther, S. Reinharta G. 2018. Digital lean production – An approach to identify potentials for the migration to a digitalized production system in SMEs from a lean perspective. *Procedia CIRP* 67, 522 – 527
- Van Donk, Dirk, Van Dam, P. 1996. Structuring complexity in scheduling: a study in a food processing industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 16: 5, 54-63.
- Domingo, R., Álvarez, R., Peña, M.M., Calvo, R. 2007. Materials flow improvement in a lean assembly line: A case study. *Assembly Automation*, 27 (2), 141-147.
- Dora, Manoj Kumar. 2012. *Framework for the Implementation of Quality Improvement Practices for European Food SMEs*. Tesis doctoral inédita, Ghent University, Belgium.

- Dora, M., Van Goubergen, D., Kumar, M., Molnar A., Gellynck X.. 2013. Operational performance and critical success factors of lean manufacturing in European food processing SMEs. *Trends in Food Science & Technology*, 31, 156-164.
- Dora, M., Van Goubergen, D., Kumar, M., Molnar A., Gellynck X. 2014. Application of lean practices in small and medium-sized food enterprises. *British Food Journal*, 116, 125-141.
- Dora, M., M. Kumar & X. Gellynck. 2016. Determinants and barriers to lean implementation in food-processing SMEs - a multiple case analysis. *Production Planning & Control*, 27, 1-23.
- Dudbridge, M. 2011. *Handbook of Lean Manufacturing in the Food Industry*. Blackwell Publishing Ltd., First Edition. USA.
- Engelund, E.H., Breum, G., Friis, A. 2009. Optimisation of large-scale food production using lean manufacturing principles, *Journal of Foodservice*, 20 (1,) 4-14.
- Esan, A., Khan,M.,Qi,H., 2013. Integrated manufacturing strategy for deployment of CAD/CAM methodology in a SMME. *J.Manuf.Technol.Manag.* 24 (2),257–273.
- Feigenbaum, 1994
- FIAB. 2017. Memoria annual 2017.
- G. Anand, Rambabu Kodali, (2008) "Selection of lean manufacturing systems using the PROMETHEE", *Journal of Modelling in Management*, 3 (1), 40-70.
- Ganiyusufoglu, 2013
- Ganiyusufoglu, Ö.S. 2013. Chinese Approach to Sustainable Manufacturing. Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing-Innovative Solutions. TU Berlin, Germany. 23-25.
- García, I., Soriano, E , Rubio, H , García, J. 2013. Simulator training for employees in the field of production: A Robert Bosch Gasoline Systems case. *International Journal of Engineering Education*, 29 (6), 1377-1386
- Ghobakhloo, M., Azar, A., Fathi, M. 2018. Lean-green manufacturing: The enabling role of information technology resource. *Kybernetes*, 47(9), 1752-1777.
- Glaser-Segura, D., Peinado, J., Reis, A. 2011. Factores influenciadores do sucesso da adoção da produção enxuta: uma análise da indústria de três países de economia emergente. *RAUSP – Revista de la Universidad de Sao Paulo*, 46 (4):423-436.

- Hallgren, M., Olhager, J. 2009. Lean and agile manufacturing: External and internal drivers and performance outcomes. *International Journal of Operations & Production Management*. 29. 976-999.
- Hartmann, L., Meudt, T., Seifermann, S., Metternich, J. 2018. Value stream design 4.0: Designing lean value streams in times of digitalization and industrie 4.0. *ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 113(6), 393-397.
- He, X., & Hayya, J. C. 2002. The impact of just-in-time production on food quality. *Total Quality Management*, 13(5), 651-670.
- Hines, P., Holweg, M., Rich, N. 2004. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *Int. J. Oper. Prod. Manage.* 24, 994–1011.
- Hoellthaler, G, Braunreuther, S., Reinhart, G. Digital lean production – An approach to identify potentials for the migration to a digitalized production system in SMEs from a lean perspective. *Procedia CIRP* 67, 522 – 527.
- Holweg, M. 2007. The genealogy of lean production, *Journal of Operations Management*, 25 (2), 420-37.
- Ianni, P. 2011. Notes from the field: Transforming Europe's second largest car manufacturer: PSA peugeot citroën *Journal of Enterprise Transformation*, 1 (4), 263-268.
- Imai, M. 2012. *Gemba Kaizen: A Common Sense Approach to Continuous Improvement Strategy*. 2nd ed. New York: McGrawHill Professional.
- Salk, J., Brannen, M.. 2000. National Culture, Networks, and Individual Influence in a Multinational Management Team. Published Online: 30 Nov 2017. *Academy of Management Journal*, 43 (2).
- Johannsen, F. 2011. State of the art concerning the Integration of methods and Techniques in quality Management – literature review and an agenda for research.
- Jones, D., & Womack, J. 2013. *Lean thinking: banish waste and créate wealth in your corporation*. 3rd. Ed. Gestión 200, Barcelona
- Kennedy, I., Plunkett, A., Haider, J. 2013. Implementation of lean principles in a food manufacturing company. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 7, 1579-1590
- Khanchanapong, T., Prajogo D., Sohal, A. S., Cooper, B. K., Yeung A., Cheng, T. 2014. The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean

- practices on manufacturing operational performance. *International Journal of Production Economics*, 153, 191-203.
- Khusaini, N. S., A. Ismail & A. A. Rashid (2015) Investigation of the prominent barriers to lean manufacturing implementation in Malaysian food and beverages industry using Rasch Model. In 2nd International Manufacturing Engineering Conference (iMEC) / 3rd Asia-Pacific Conference on Manufacturing Systems (APCOMS). Kuala Lumpur, MALAYSIA.
- Krafcik, J.F. 1988. Triumph of the Lean Production System. *Sloan Management Review*, 30, 41-52
- Kumar, M. and Antony, J. 2008. Comparing the quality management practices in UK SMEs. *Industrial Management & Data Systems*, 108 (9), 1153-1166
- Lampón, J., Lago-Peñas, S., González-Benito, J. 2015. International relocation and production geography in the European automobile components sector: The case of Spain. *International Journal of Production Research*, 53 (5), 1409-1424.
- Lee, S., Ebrahimpour, M. 1984. Just-In-Time Production System: Some Requirements for Implementation. *International Journal of Operations & Production Management*, 4 Issue: 4, 3-15.
- Lee, J., Kao, H.A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, 3-8.
- Lehtinen, U., & Torkko, M. 2005. The Lean concept in the food industry: a case study of a contract manufacturer. *Journal of Food Distribution Research*, 36(3), 57.
- Li, J., Tao, F., Cheng, Y., & Zhao, L. (2015). Big data in product lifecycle management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1-4), 667-684. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7151-x>
- Little, David and McKinna, A. (2005) A lean manufacturing assessment tool for use in SMEs. In: *Proceedings of the Seventh SMESME International Conference : Stimulating Manufacturing Excellence in Small & Medium Enterprises: 12-15 June 2005 University of Strathclyde, Glasgow, UK.*
- Losada, J., Eraso, J. , Gárci, P. 2012. Airport management: The survival of small airports. *International Journal of Transport Economics*, 39 (3), 349-367.



- M. Dolores Moreno Luzon. 1993. Training and the Implementation of Quality Programmes by a Sample of Small and Medium-sized Firms in Spain. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 10 (3).
- Malhotra, M. K., & Grover, V. 1998. An assessment of survey research in POM: from constructs to theory. *Journal of Operations Management*, 16(4), 407-425.
- Maneesh Kumar, Antony, J. 2008. Comparing the quality management practices in UK SMEs. *Industrial Management & Data Systems*, 108 (9), 1153-1166.
- Dora, M., Van Goubergen, D., Kumar, M., Molnar, A., Gellynck, X. 2014. Application of lean practices in small and medium-sized food enterprises. *British Food Journal*, 116 (1), 125-141.
- Mao, J., Xing, H., & Zhang, X. 2018. Design of intelligent warehouse management system. *Wireless Personal Communications*, 102(2), 1355-1367.
- MAPAMA, 2017. Anuario de estadística Ministerio de agricultura y pesca, Alimentación y medio ambiente. Avance 2016. Madrid.
- Marin-Garcia, J. A., & Bonavia, T. 2015. Relationship between employee involvement and lean manufacturing and its effect on performance in a rigid continuous process industry. *International Journal of Production Research*, 53(11), 3260-3275.
- Monden, 2011. *Toyota Production System; An Integrated Approach to Just-In-Time*, 4th Edition.;Ebook library. CRC Press, Hoboken.
- Moyano-Fuentes, J., Sacristán-Díaz, M., Martínez-Jurado, P. 2012. Airport management: The survival of small airports. *International Journal of Transport Economics*, 39 (3), 349-367.
- N S Khusaini , A Ismail, A A Rashid. 2016. Investigation of the prominent barriers to lean manufacturing implementation in Malaysian food and beverages industry using Rasch Model. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 114.
- Nicoletti, B. 2013. Lean and automate manufacturing and logistics. *Advances in production management systems. Sustainable production and service supply chains*. Springer Berlin Heidelberg. 278-285.
- Mahalik, N. P, Nambiar, A. N. 2010. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. *Trends in Food Science & Technology*, 21,117-128.

- Noorwali, A. 2013. Apply Lean and Taguchi in different level of variability of food flow processing system. *Procedia Engineering*, 63, 728 – 734.
- Nychas, G.-J. E., E. Z. Panagou & F. Mohareb. 2016. Novel approaches for food safety management and communication. *Current Opinion in Food Science*, 12, 13-20.
- Olivella, J., Gregorio, R. 2015. A case study of an integrated manufacturing performance measurement and meeting system. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26 (4), 515-535.
- Cocca, P., Alberti, M. 2010. A framework to assess performance measurement systems in SMEs, *International Journal of Productivity and Performance Management*. 59:2, 186-200.
- Pellicer, E., Ponz-Tienda, J. 2014. Teaching and learning lean construction in Spain: A pioneer experience. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC, 1245-1256.
- Pérez, C., de Castro, R., Simons, D., Giménez, G. 2010. Cooperation in the supply chain and lean production adoption: Evidence from the Spanish automotive industry. *International Journal of Operations and Production Management*, 32 (9), 1075-1096.
- Perez-Juan, M., N. K. Afseth, J. Gonzalez, I. Diaz, M. Gispert, M. Font i Furnols, M. Angels Oliver & C. E. Realini. 2010. Prediction of fatty acid composition using a NIRS fibre optics probe at two different locations of ham subcutaneous fat. *Food Research International*, 43, 1416-1422.
- Pettersen, J. 2009. Defining lean production: some conceptual and practical issues. *TQM Journal* 21(2), 127-142.
- Achanga, P., Shehab, E., Rajkumar, R., Nelder, G. 2006. Critical success factors for lean implementation within SMEs, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(4). 460-471.
- Pool, A., Wijngaard J., van der Zee, D. 2011. Lean planning in the semi-process industry, a case study. *Int. J. Production Economics*. 131, 194–203.
- Prajogo, D., Olhager, J., 2012. Supply chain integration and performance: the effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration. *Int.J.Prod.Econ*. 135 (1), 514–522.

- QP Staff. 2010. Gurú guide. Six thought leaders who changed the quality world forever. Quality Progress. pp. 1433-1451.
- Rachna Shah, Peter T. Ward (2007). Defining and developing measures of lean production. Journal of Operations Management Volume 25, Issue 4, June 2007, Pages 785-805.
- Rahani A., al-Ashraf M. 2012. Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study. Procedia Engineering 41, 1727 – 1734.
- Rakesh Jain, A.C. Lyons. 2009. The implementation of lean manufacturing in the UK food and drink industry. International Journal of Services and Operations Management (IJSOM), 5 (4).
- Raki, H. 2014. An application of RFID in supply chain management to reduce inventory estimation error. Uncertain Supply Chain Management, 2(2), 97-104.
- Registro de Industrias Agroalimentarias GRIA. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural Dirección General de Industrias y Cadena Agroalimentaria de la Junta de Andalucía.
- Reis, L., Kipper, L., Giraldo Velásquez, F. D., Hofmann, N., Frozza, R., Ocampo, S. A., & Tabora Hernandez, C. A. 2018. A model for lean and green integration and monitoring for the coffee sector. Computers and Electronics in Agriculture, 150, 62-73.
- Riezebos, J. & W. Klingenberg (2009) Advancing lean manufacturing, the role of IT. Computers in Industry, 60, 235-236.
- Mann, R., Kehoe, D. 1994. An Evaluation of the Effects of Quality Improvement Activities on Business Performance. International Journal of Quality & Reliability Management, 11 (4), 29-44.
- Roy, M. 2018. The role of internet of things (IoT) and big data as a road map for smart management systems: Case studies across industries. Paper presented at the ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings,
- Ruiz, J. 2013. Value and tracking: Analysis possible wasteful sector meat by Spanish policy food safety [Valor y trazabilidad: Análisis de los posibles despilfarros en el sector cárnico español según las políticas de seguridad alimentaria]. Agroalimentaria, 19 (37), 75-89.

- Vinodh, S., Balaji, S. 2011. Fuzzy logic based leanness assessment and its decision support system, *International Journal of Production Research*, 49:13, 4027-4041.
- Salles, J.A.A., Vieira Jr., M., Vaz, R.R., Vanalle, R.M. 2010. Manufacturing strategies in the auto industry in Brazil and Spain. *IEEM2010 - IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, art. no. 5674592, 1661-1665.
- Sánchez, A., Pérez, M. 2004. The use of lean indicators for operations management in services. *Int. J. Services Technology and Management*, 5, 5/6, 465–478.
- Sanders, A. and Wulfsberg, J.P. (2015). *Industrie 4.0: Shopfloor Management im Wandel*. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 110 (10), 653-656.
- Bhasin, S. 2008. Lean and performance measurement, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19 (5), 670-684.
- Schuh, G., Gartzen, T., Rodenhauser, T., Marks, A. 2015. Promoting Work-based Learning through INDUSTRY 4.0. *Procedia CIRP*, 32, 82-87.
- Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Hauptvogel, A. 2013. Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical-systems. *Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing—Innovation Solutions*. Berlin, Germany. 332-335.
- Shah, R., Ward, P. 2007. Defining and developing measures of lean production, *Journal of Operations Management* 25, 785–805.
- Sihn, W. & M. Pfeffer. 2013. A method for a comprehensive value stream evaluation. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 62, 427-430.
- Simons, D., Taylor, D. 2007. Lean thinking in the UK red meat industry: A systems and contingency approach. *International Journal of Production Economics*, 106, 70-81.
- Sopelana, A. , Flores, M., Martinez, L., Flores, K., Sorli, M. 2012. The application of an assessment tool for lean product development: An exploratory study in Spanish Companies(2012) *18th International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE 2012 - Conference Proceedings*, art. no. 6297678.
- Spear S., Kent H. 1999. Decoding the DNA of the Toyota Production System. *HARVARD BUSINESS REVIEW*, September-October 1999, 97-106.
- Swamidass, 2003

- Swamidass, P.M., Nair, A., 2004. What top management thinks about the benefits of hard and soft manufacturing technologies. *IEEE Trans. Eng. Manag.* 51(4), 462–471.
- Swink, M., Narasimhan, R., Kim, S.W., 2005. Manufacturing practices and strategy integration: effects on cost efficiency, flexibility, and market-based performance. *Decis. Sci.* 36(3), 427–457.
- Tanco, M., J. Santos, J. Luis Rodriguez & J. Reich. 2013. Applying lean techniques to nougat fabrication: a seasonal case study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68, 1639-1654.
- Khanchanapong, T., Prajogo, D., Sohal, A., Cooper B. 2014. The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance, *Int. J. Production Economics* 153, 191–203.
- Tepeš, M., Krajnik, P., Kopač, J., & Semolič, B. 2015. Smart tool, machine and special equipment: overview of the concept and application for the toolmaking factory of the future. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 37 (4), 1039-1053.
- Trygg, L., 1993. Concurrent engineering practices in selected Swedish companies: a movement or an activity of the few? *J. Prod. Innov. Manag.* 10 (5), 403–415.
- Upadhye, N., Deshmukh, S.G. and Garg, S. (2010), “Lean manufacturing in biscuit manufacturing plant: a case”, *International Journal of Advanced Operations Management*, Vol. 2 No. 1, pp. 108-139.
- Van Goubergen, D., Dora, M. K., Kumar, M., Molnar, A., & Gellynck, X. 2011. Lean application among European food SMEs: findings from empirical research. In T. Doolen, & E. Van Aken (Eds.), *Proceedings of the 2011 Industrial Engineering Research Conference*. Institute of Industrial Engineers (IIE).
- Van Wezel et al., 2006. The planning flexibility bottleneck in food processing industries in *Journal of Operations Management* 24(3):287-300.
- Vinodh, S., Joy, D., 2012. Structural equation modeling of lean manufacturing practices. *Int. J. Prod. Res.* 50 (6), 1598–1607.
- Wan, J., Cai, H., & Zhou, K. 2015. Industrie 4.0: Enabling technologies. *International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things (ICIT)*. IEEE, Harbin, China, 135-140.

- Wan, Y.L., Zhu, H.P., Mu, Y.P., & Yu, H.C. 2014. Research on IOT-Based Material Delivery System of the Mixed-Model Assembly Workshop. Proceedings of 2013 4th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2013). Springer Berlin Heidelberg. 581-593.
- Wang, J., Xiang, Y., Zhao, N. 2018. Spacecraft system engineering development management platform based on lean and collaborative concept. *Systems Engineering and Electronics*, 40 (6), pp. 1310-1317.
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-Papers OnLine*, 48(3), 579-584.
- Wiendahl, H.P., & Lutz, S. (2002). Production in networks. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 51(2), 573-586.
- Womack, J., Jones, D., Roos, D. 1990. *The machine that changed the world*: Rawson Associates New York.
- Jones, D., & Womack, J. 2012. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. 3rd. Ed. Gestión 200, Barcelona.
- Wout Van Wezel, Dirk Pieter Van Donk, Gerard Gaalman (2006). The planning flexibility bottleneck in food processing industries. *Journal of Operations Management*, Volume 24, Issue 3, April 2006, Pages 287-300.
- Xin He, Jack C. Hayya. 2002. The impact of just-in-time production on food quality, *Total Quality Management*, 13:5, 651-670
- Wang, Y., Cullinane, K., 2008. Measuring container port accessibility: *Maritime Economics & Logistics*, 10, (75–89)
- Yeung 2006. Receptor activation alters inner surface potential during phagocytosis. *Science*. 2006 Jul 21;313(5785):347-51.
- Zahra, Shaker & R. DAS, SIDHARTHA. 1993. Innovation strategy and financial performance in manufacturing companies: an empirical study, *Production and Operations Management*. 2 (1) 15 - 37.
- Zamora-Rojas, E., D. Perez-Marin, E. De Pedro-Sanz, J. E. Guerrero-Ginel & A. Garrido-Varo. 2012. In-situ Iberian pig carcass classification using a micro-electro-

mechanical system (MEMS)-based near infrared (NIR) spectrometer. *Meat Science*, 90, 636-642.

Radnor, Z., Paul Walley. 2008. Learning to Walk Before We Try to Run: Adapting Lean for the Public Sector, *Public Money & Management*, 28:1, 13-20.

Zokaei, K., & Simons, D. 2006. Performance Improvements through Implementation of Lean Practices: A Study of the UK Red Meat Industry. *International Food and Agribusiness Management Review*, 9(2), 30-53.





## **ANEXO I**

# USO DE TÉCNICAS DE GESTIÓN

El presente formulario ha sido elaborado con la finalidad de conocer el grado de madurez que poseen las industrias agro alimentarias andaluzas respecto a la utilización de herramientas de gestión de procesos a través de la mejora continua. El mismo, forma parte del desarrollo de una Tesis Doctoral realizada entre la Universidad de Córdoba y el centro tecnológico CICAP, con la financiación del CEIA3, Banco Santander y el Ministerio de Educación.

\*Obligatorio

## DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

---

### 1. 1.- Tipo de empresa \*

Indique que clase de productos que elabora

---

---

---

---

---

### 2. 2.- Puesto en la empresa de la persona que realiza la encuesta

Por favor indique la posición que usted ocupa dentro de la organización.

---

---

---

---

---

### 3. 3.- Ubicacionción de la empresa \*

Provincia/ Ciudad

---

---

---

---

---

### 4. 4.- Numero de trabajadores de la empresa \*

Marca solo un óvalo.

- Entre 0 y 9 trabajadores
- Entre 10 y 49 trabajadores
- Entre 50 y 249 trabajadores
- 250 o mas

## Relación con el cliente

**5. 1.- Mantiene contacto constante con sus clientes \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**6. 2.- Los clientes le reportan la satisfacción en cuanto a calidad y entrega \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**7. 3.- Realiza regularmente una encuesta de satisfacción de clientes \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**Relación a los proveedores****8. 4.- Mantiene contacto cercano con sus proveedores \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**9. 5.- Sus proveedores estratégicos le entregan en el tiempo exacto \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**10. 6.- Toma acciones para reducir el número de proveedores de cada categoría \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**Estrategia de produccion Pull**

**11. 7.- Utiliza un sistema de producción que responde solo a la demandada del cliente \***

Solo cuando el cliente lo demanda  
 Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**12. 8.- Usa un sistema de información para el control de la fabricación de los productos demandados en la cantidad y tiempo necesarios (Ej.: Kanban, otro) \***

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**13. 9.- El producto en cada estación es demandado por la siguiente estación inmediata \***

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

## Creación de Flujo

---

**14. 10.- Los productos son clasificados por familias o grupos con procesamientos similares \***

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**15. 11.- Los productos son clasificados con recorridos similares \***

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**16. 12.- Las familias de productos determinan el diseño de la planta \***

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

## Arranques de línea

---

**17. 13.- Trabaja para disminuir los tiempos de preparación o arranque de línea \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**18. 14.- Monitorea el tiempo de ciclo de su producción para responder de forma rápida a los requerimientos del cliente \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**19. 15.- Los trabajadores establecen prácticas que ayuden a reducir el tiempo de ciclo \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**Uso de Control Estadístico de Proceso****20. 16.- Los procesos de planta están bajo control estadístico \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**21. 17.- Se usan de forma extensiva las técnicas estadísticas para identificar la variación del proceso \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**22. 18.- Utiliza gráficos para mostrar las tasas de defecto de la planta \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**Participación de los empleados**

**23. 19.- Los empleados de planta se someten a formación funcional cruzada \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**24. 20.- Los empleados de planta son fundamentales para la conformación de los equipos de resolución de problemas \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**25. 21.- Empleados de planta lideran los esfuerzos de mejora de producto / proceso \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**Mantenimiento total productivo****26. 22.- Tiene un plan de mantenimiento preventivo \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**27. 23.- Dedicar un tiempo todos los días para planificar las actividades de mantenimiento de equipos \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**28. 24.- Publica regularmente registros del mantenimiento de equipos en la planta \****Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**BENEFICIOS ENCONTRADOS**

**29. 1.- Por favor indique los beneficios que ha encontrado al implantar (si fuera el caso) algunas de las herramientas antes mencionadas**

Selecciones todas aquellas con las que esté de acuerdo

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Reducción de desperdicios
- Reducción del tiempo de ciclo de fabricación
- Reducción del tiempo de entrega
- Incremento de la productividad
- Reducción de costes de producción
- Aumento de la rentabilidad
- Reducción de quejas de clientes
- Reducción de quejas de trabajadores
- Mejora de la calidad de su producto
- Otro: \_\_\_\_\_

**30. Indique cualquier otro beneficio que haya obtenido**

---

---

---

---

---

## BARRERAS PARA LA IMPLANTACION

**31. 1.-Por favor indique las barreras que considera como impedimento al implantar algunas de las herramientas antes mencionadas**

Seleccióna todos los que correspondan.

- Falta de compromiso de la gerencia
- Técnicas de control de proceso inadecuadas
- Disponibilidad de recursos
- Pobre participación de los trabajadores
- Mala selección de proyectos
- Falta de formación
- Falta de entrenamiento
- Falta de conocimiento
- Pobre participación de proveedores
- Resistencia al cambio
- Poca delegación de autoridad
- Producto altamente perecedero
- Separación física de las áreas de elaboración y envasado
- Ritmo de producción dependiente del momento de limpieza
- Tamaño pequeño y poca tecnificación
- Otro: \_\_\_\_\_

**32. Indique cualquier otra barrera que haya encontrado**

---

---

---

---

---

