

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**APLICACIÓN DE LEAN MANUFACTURING EN LABORATORIOS
PARA REDUCIR EL TIEMPO DE ENTREGA DE RESULTADOS DE
LOS ANÁLISIS**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

AUTOR

Jairo Renso Mallma Tapia

ASESOR

Ing. José Alan Rau Alvarez

Lima, Julio de 2020

RESUMEN

El tiempo de entrega de resultados y la calidad son los dos aspectos más valorados hoy en día en la industria de los laboratorios de análisis de muestras y caracterización. Es sorprendente como estos dos factores hacen posible la consolidación de un laboratorio dentro del mercado de análisis de muestras que, entre los años 2010 al 2020, ha ido creciendo gracias a la intención de las empresas locales por mejorar su sistema de producción a partir de investigaciones y pruebas que son encomendados a estos laboratorios de análisis. En ese sentido, es fundamental que estos laboratorios de análisis presenten un proceso correctamente organizado, acreditado y capaz para brindar resultados competentes y de confianza para las empresas que demandan sus servicios.

El siguiente trabajo de investigación estudia diferentes casos de aplicación de la metodología de *Lean Manufacturing* en laboratorios de servicios de ensayos y laboratorios de centros de estudios superiores, con el objetivo de identificar aquellas herramientas de la manufactura esbelta cuyas aplicaciones obtengan buenos resultados en laboratorios, reduciendo los desperdicios y tiempos de servicio. Así pues, con la identificación de estas herramientas se busca la generalización de procedimientos de aplicación de la metodología *Lean Manufacturing* en laboratorios de pruebas y ensayos. Para estos fines, en la primera sección, se ha desarrollado la parte teórica de la filosofía *Lean*, la cual se respaldó por el planteamiento de dos hipótesis respecto a la aplicación de *Lean Manufacturing* en laboratorios, las cuales se contrastarán en la última parte de esta investigación, donde se realizó la comparación de los casos de aplicación.

Finalmente, contrastando las hipótesis planteadas al inicio de la investigación, se identificó que en el 100% de los casos, se redujeron los desperdicios y tiempos de producción, y 4 de los 7 casos de estudio obtuvieron reducción de costos considerables. Asimismo, respecto a las herramientas que tuvieron mayor impacto en común en los casos de estudio son las 5S, VSM, SMED, Control visual, *One Piece Flow*. En ese sentido, son estas herramientas las que, en general, podrían ejercer mayor impacto en la mejora de procesos de laboratorios de servicios de ensayos.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
INTRODUCCIÓN	1
1 ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Hipótesis	2
2 CONCEPTOS Y DEFINICIONES	3
2.1 Conceptos generales de <i>Lean Manufacturing</i>	3
2.1.1 Antecedentes de <i>Lean Manufacturing</i>	3
2.1.2 Principios de <i>Lean Manufacturing</i>	3
2.1.3 Desperdicios de <i>Lean Manufacturing</i>	4
2.1.4 Mejora continua y <i>KAIZEN</i>	5
2.2 Técnicas <i>Lean</i>	5
2.2.1 5 S	5
2.2.2 Mapas de Cadena de Valor (Value Stream Maps).....	7
2.2.3 Single Minutes Exchange of Dies (SMED).....	8
2.2.4 Total Productive Maintenance (TPM)	8
2.2.5 <i>Kanban</i>	9
2.2.6 <i>Jidoka</i>	10
2.2.7 <i>Just In Time</i>	10
2.2.8 <i>Heijunka</i>	11
3 INVESTIGACIONES PREVIAS	13
3.1 Caso de estudio N° 1	13
Descripción general	14
Aplicaciones	15
3.2 Caso de estudio N° 2.....	16

Descripción general	17
Aplicaciones	19
3.3 Caso de estudio N° 3.....	20
Descripción general	21
Aplicaciones	22
3.4 Caso de estudio N° 4.....	24
Descripción general	25
Aplicaciones	26
3.5 Caso de estudio N° 5.....	27
Descripción general	27
Aplicaciones	29
3.6 Caso de estudio N° 6.....	30
Descripción general	30
Aplicaciones	32
3.7 Caso de estudio N° 7.....	33
Descripción general	33
Aplicaciones	35
4 COMPRACIÓN DE RESULTADOS.....	36
4.1 Metodología.....	36
4.2 Cuadro de comparación.....	36
4.3 Análisis de resultados.....	38
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
5.1 Conclusiones.....	39
5.2 Recomendaciones.....	40
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Las seis grandes pérdidas en los equipos productivos	9
Tabla 2: Caso de la empresa LOGISTICA SAC	13
Tabla 3: Caso del Laboratorio Clínico Domecq & Lafage	16
Tabla 4: Caso del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Julio Garavito	20
Tabla 5: Caso del laboratorio de una empresa de servicios integrales para la industria acuícola y alimentaria	24
Tabla 6: Caso del laboratorio clínico de cateterismo Cath Lab	27
Tabla 7: Caso del laboratorio de la empresa Iproma	30
Tabla 8: Caso del laboratorio de la Clínica Universitaria Colombia	33



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de tarjeta roja.....	6
Figura 2: Mapa de la Cadena de Valor del producto XY	7
Figura 3: Esquema del sistema <i>Kanban</i>	10
Figura 4: Casa Lean	11
Figura 5: Producción suavizada (<i>Heijunka</i>)	12
Figura 6 Porcentaje de ingreso de muestras vs Tipo de Concentrado.....	14
Figura 7 Formación de familias de servicios.....	14
Figura 8 Porcentaje de las áreas de valor desde el punto de vista del cliente	17
Figura 9 Ajuste de la distribución de los TS en boxes de rutinas	18
Figura 10 Ajuste de la distribución de los TS en boxes de especiales	18
Figura 11 Ajuste de la distribución de los TS en boxes de urgencias.....	18
Figura 12 Gráfico de comparación: situación inicial, actual y objetivo.....	22
Figura 13 Comparación de reprocesos actual vs piloto	26
Figura 14 Comparación de reclamos actual vs piloto.....	26
Figura 15 Comparación de los motivos de demora antes y después de la aplicación de Lean Manufacturing	28
Figura 16 Motivos de demora de las pruebas de sangre y sus mejoras.....	29
Figura 17 Cronograma de trabajos realizados	31
Figura 18 Gráfico X-Barr.....	34
Figura 19 Número de quejas antes y después del evento <i>Kaizen</i>	35

INTRODUCCIÓN

Conseguir una mejor rentabilidad es uno de los temas con mayor importancia para una empresa desde su fundación. Sin embargo, es cada vez más complicado para las organizaciones mejorar las condiciones en las que se ofrecen sus productos y/o servicios, ante la constante exigencia del mercado actual por una mejor calidad, menor tiempo de respuesta, menores precios, entre otros. Es así que existe una intención colectiva por parte de las organizaciones para incrementar continuamente su eficiencia y, de esta manera, responder a las expectativas del mercado (Vargas et al., 2016, pp. 153-156)

La principal interrogante en relación con el tema anterior se centra en qué es lo que incapacita a las empresas para lograr estos atributos que son demandados por los clientes. Es así que se evidencia la importancia de identificar aquellos detalles, dentro del proceso productivo de las empresas, que imposibilitan elevar su eficiencia y, por tanto, su competitividad en el mercado actual. Para complementar con cifras lo antes mencionado, Melton consigna que solo el 5% de las actividades realizadas en las operaciones de producción, en una empresa, agregan valor, el 35% son necesarias, pero tampoco agregan valor, y el 60% no agrega ningún tipo de valor (2005). Por su parte, según Taj y Berro (2006) más del 70 % de los recursos de las empresas, que son destinadas a la manufactura, son desperdiciados durante el proceso productivo (citado en Vargas et al., 2016, pp.154). En ese sentido, hay un importante porcentaje de actividades que, siendo innecesarias, elevan los tiempos y costos de la producción.

Por lo expuesto, se recalca la importancia de realizar una investigación enfocada en la mejora de procesos, mediante la eliminación de los desperdicios que existen dentro de una organización y su proceso productivo. El contenido de esta investigación está estructurado en cinco capítulos.

En el capítulo 1 se tratan algunos aspectos generales, en donde describen el objetivo general y los específicos, así como las hipótesis que servirán para responder a la interrogante de investigación.

En el capítulo 2 se definen algunos conceptos y herramientas de *Lean Manufacturing* con el fin de facilitar la comprensión de la teoría que será utilizada a lo largo de esta investigación.

En el capítulo 3 se abarcan investigaciones previas, en donde se estudian casos de aplicación de *Lean Manufacturing*.

En el capítulo 4 se analizan los resultados estos casos de aplicación y se realizan cuadros comparativos.

Por último, en el capítulo 5, se realiza la discusión, conclusiones y recomendaciones finales referentes al presente trabajo de investigación.

1 ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se describen el objetivo general y objetivos específicos del presente trabajo de investigación. Asimismo, se plantean las hipótesis de la investigación, que nos servirán para responder (una vez revisados los casos de estudio) a la interrogante de este estudio, la cual también está planteada en esta sección.

1.1 Objetivo General

Entender en qué medida la aplicación de las herramientas de *Lean Manufacturing* influyen en la obtención de un sistema de mejoras continuas en el sector productivo.

1.2 Objetivos Específicos

Elevar la eficiencia de laboratorios de análisis, mediante la eliminación de desperdicios en el proceso de producción y la mejor calidad, que permite la aplicación de *Lean Manufacturing*.

Elevar la rentabilidad de laboratorios de análisis, mediante la reducción de sus costos de producción

1.3 Hipótesis

Para definir la hipótesis, primero se planteará la siguiente pregunta: ¿Se puede reducir los costos de producción y, por lo tanto, aumentar la eficiencia y competitividad de laboratorios locales de análisis mediante la aplicación de la metodología *Lean Manufacturing*? Luego, para responder a esta pregunta se plantean las siguientes hipótesis:

Primera hipótesis: Mediante la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing* se reducen los desperdicios y los tiempos de producción.

Segunda hipótesis: La aplicación de las herramientas de *Lean Manufacturing* influye en la reducción de los costos totales de producción.

2 CONCEPTOS Y DEFINICIONES

Con la finalidad de facilitar la comprensión de este trabajo de investigación, se presenta, a continuación, la parte teórica y algunas definiciones de *Lean Manufacturing*.

2.1 Conceptos generales de *Lean Manufacturing*

Lean Manufacturing es “la persecución de una mejora del sistema de fabricación mediante la eliminación del desperdicio, entendiendo como desperdicio o despilfarro todas aquellas acciones que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar” (Rajadell & Sánchez, 2010, pp. 2). *Lean* es un término en inglés que significa, “sin grasa”. La fabricación *Lean*, o lo que es llamado “*Lean Manufacturing*”, es entonces una fabricación “sin grasa”, sin desperdicio, sin elementos que no añaden valor agregado al producto final ante los ojos del cliente. Es la fabricación perfecta, sin desperdicios ni errores (Prodintec, 2010).

2.1.1 Antecedentes de *Lean Manufacturing*

Luego de la segunda guerra mundial sucedió el auge de la producción en masa, que fue influenciada, en gran parte, por la política norteamericana, respondiendo a la necesidad de la estabilidad de sus mercados. No obstante, casi una década después, en los años 60, la productividad y calidad se deterioró al punto de disminuir considerablemente la rentabilidad de las organizaciones que trabajan bajo esta modalidad de producción (Rajadell & Sánchez, 2010).

La idea de *Lean Manufacturing* se remonta al año 1949, cuando Toyota, la empresa familiar que se había formado en 1937, sufre la caída de sus ventas y se encontró en la necesidad de recortar el personal de mano de obra de ese entonces. Es así que, en el año 1950, Eiji Toyoda, el joven ingeniero japonés de la familia Toyoda, realizó una peregrinación de tres meses de duración a la planta de Rouge de Ford y observándola llegó a la conclusión de que el principal problema de este sistema de producción son los desperdicios (Vargas et al., 2016, pp. 153-174).

2.1.2 Principios de *Lean Manufacturing*

A continuación, se presentan los cinco principios centrales que Womack y Jones (1996) propusieron luego de sintetizar el aprendizaje que dejaron las prácticas de Toyota:

- Especificar el valor: Es definido por el cliente final y creado por el fabricante. Responde a las preguntas ¿qué es lo que esperan los clientes del producto?, ¿cuáles son las características por las que están dispuestos a pagar?
- Análisis de la cadena de valor: La tarea de analizar la cadena de valor permite identificar las actividades que genera valor y las que no lo hacen ante los ojos del cliente. La “iniciativa esbelta”, que es la constante comunicación entre ambas partes permitirá que se mejore el flujo de las actividades que generan valor y se eliminen las actividades que se consideran como desperdicios.

- Flujo continuo: Se refiere a la búsqueda de lograr que el producto fluya continuamente por actividades que le agreguen valor. Lo que se busca también es que el flujo sea de una sola pieza a la vez y no por lotes (*one piece flow*). De esta forma se evita la aparición de inventarios innecesarios.
- El cliente jala: Este principio está fundamentalmente representado por el concepto *Just In Time* (JIT). Esto es, se deben entregar los productos justo cuando el cliente lo requiera, lo que implica que la producción no está basada en pronósticos; por el contrario, está basado en indicios reales de la demanda y venta de sus productos.
- Mejora continua: Este principio se refiere a la búsqueda constante de la perfección. Esto es, el concepto de mejora continua, conocido como *Kaizen*, nos proporciona la idea de que no existe un final de las mejoras a realizar, “siempre hay algo en lo que se puede mejorar”. Por eso, es fundamental implantar la política del mejoramiento constante en las empresas.

2.1.3 Desperdicios de *Lean Manufacturing*

Dentro del tema de los desperdicios de *Lean Manufacturing*, es necesario mencionar las denominadas Tres Ms, que nos ayuda a identificar los desperdicios a ser eliminados (González & Francisco, 2007):

- Muda: Se refieren a las actividades que no crean valor para el cliente, pero sí consumen recursos. Existen dos tipos de muda: las primeras, que será complicado eliminarlas al momento, ya que son parte necesaria del proceso de producción de la empresa (por ejemplo, el transporte de material a los distribuidores), y las segundas, que son actividades que podrían ser eliminadas mediante la aplicación de la mejora continua *Kaizen* (por ejemplo, eliminar el traslado entre dos estaciones).
- Mura: Está referida a cualquier producción en exceso, que no ha sido demandado por el cliente y fue ocasionado por problemas en la producción.
- Muri: Se refiere a las actividades que requieren esfuerzo considerable por parte de los operarios o por las maquinarias, lo que a su vez ocasiona cuellos de botella y tiempos desperdiciados.

Partiendo de estos tres conceptos, Toyota identificó siete tipos de desperdicios que actualmente se conocen como “7+1 desperdicios”, haciendo referencia al octavo como el desperdicio de talento humano. Estos desperdicios se presentan a continuación (González & Francisco, 2007):

1. Sobreproducción: Producir más de lo que los clientes han solicitado, lo que genera mayor inventario y, por lo tanto, mayores costos de almacenamiento.
2. Inventario: Se refiere a que se conserva más producto que lo que se necesita. Exceso en la cantidad de productos finales o en proceso, que generan altos costos de transporte y almacenamiento y posibles pérdidas de calidad del producto.
3. Transportes innecesarios: Mover el producto más de lo que es necesario, lo que podría generar daños a los inventarios.

4. Espera: Es el tiempo donde el valor no puede ser agregado por causa de retrasos en el proceso productivo, lo que genera costos adicionales por conceptos de maquinaria y mano de obra inactiva.
5. Movimiento: Cualquier movimiento adicional o innecesario del operario cuando se está realizando el proceso de producción.
6. Sobreprocesamiento: Realizar mayor cantidad de tareas sobre un producto que lo que es necesario para el cliente.
7. Reprocesos: Corrección ante fallas en la producción de un artículo o productos no conformes con los requerimientos del cliente.
8. Desperdicio del talento: Asignar tareas inadecuadas al personal, considerando que, por sus conocimientos y competencias, pueden generar valor en otras ramas.

2.1.4 Mejora continua y KAIZEN

Los antecedentes del concepto de mejora continua se remontan hacia las aportaciones de Deming y Juran en materia de calidad, los cuales sirvieron de cimiento para los nuevos conceptos planteados por *Ishikawa, Imai y Ohno*, quienes resaltaron la importancia de la participación de todo el personal de la empresa en la resolución de problemas. Debe entenderse la mejora continua como una lucha persistente contra el desperdicio, como la actitud hacia la mejora constante. La palabra *Kaizen* significa “cambio para mejorar”, lo que refleja que siempre hay un método mejor para realizar las cosas. Esta filosofía implica desarrollar pequeños progresos llevados a cabo por todos los empleados, incluyendo a los altos directivos. Así, cuando aparezca un problema, esta idea de mejora continua propone que el proceso productivo se debe detener para analizar sus causas y aplicar las medidas correctivas pertinentes en ese momento. Son los operarios los que, al estar en constante contacto con la producción, tienen mayor facultad de percibir la ocurrencia de estos nuevos problemas y, asimismo, son los más capacitados para brindar soluciones y propuestas de mejora. A continuación, se presentan cuatro puntos clave del espíritu *Kaizen* (Hernández & Vizán, 2013):

- ✓ Corregir los errores inmediatamente e *in situ*
- ✓ Buscar la causa real de los problemas, plantearse los 5 porqués
- ✓ Abandonar ideas fijas, rechazar el estado actual de las cosas
- ✓ La mejora es infinita

2.2 Técnicas Lean

En esta parte se desarrollarán las distintas técnicas de *Lean Manufacturing*, empezando desde las que son aplicables a cualquier casuística hasta las que son más específicas e involucran mayor tiempo y recursos.

2.2.1 5S

El significado de este acrónimo corresponde a cinco iniciales en japonés: *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu* y *Shitsuke* que significan separar lo necesario de lo innecesario, poner cada cosa en su lugar, limpiar e

inspeccionar, estandarizar e implantar el hábito respectivamente. Las “5 s” consisten en la aplicación fundamental de los principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo, lo cual genera buena actitud hacia el área de trabajo y es considerada como la primera herramienta *Lean* a ser implementada. La ventaja de la aplicación de esta herramienta es que se invierte relativamente poco tiempo y los resultados pueden visualizarse con prontitud. A continuación, se detallan las cinco etapas de esta herramienta *Lean* (Hernández & Vizán, 2013).

- ✓ *Seiri* (Clasificación): En este paso se separa las cosas que se necesitan de las que no para que, posteriormente, se eliminen esos objetos que no son necesarios en el área de trabajo. Esto se realiza con el fin de evitar estorbos, pérdidas de tiempo en la ubicación de los objetos que sí son necesarios, falta de espacio, entre otras cosas que son originados por el abarrotamiento de objetos. Básicamente, se identifican estos objetos susceptibles a ser prescindibles con etiquetas rojas (Ver Figura 1) para que luego se defina si se consideran como desechos y proceder a eliminarlos.

TARJETA ROJA			
NOMBRE DEL ARTÍCULO			
CATEGORÍA	1. Maquinaria	6. Producto terminado	
	2. Accesorios y herramientas	7. Equipo de oficina	
	3. Equipo de medición	8. Limpieza	
	4. Materia Prima		
	5. Inventario en proceso		
FECHA	Localización	Cantidad	Valor
RAZÓN	1. No se necesita	5. Contaminante	
	2. Defectuoso	6. Otros	
	3. Material de desperdicio		
	4. Uso desconocido		
ELABORADA POR			Departamento
FORMA DE DESECHO	1. Tirar	5. Otros	
	2. Vender		
	3. Mover a otro almacén		
	4. Devolución proveedor		
FECHA DESCHECHO			

Figura 1: Ejemplo de tarjeta roja
Fuente: (Hernández & Vizán, 2013)

- ✓ *Seiton* (Orden): Consiste en definir el lugar de ubicación de cada objeto clasificado como necesario en la etapa anterior, con el fin de facilitar su pronta ubicación y poder retornar cada objeto a su posición inicial establecida. En esta etapa también se realiza la delimitación de las áreas de trabajo y el etiquetado de la ubicación de cada objeto de manera que sea posible ser identificado por todo el personal. Para el criterio de ubicación de los elementos, se toma en cuenta la frecuencia de uso y temas de seguridad en el trabajo.
- ✓ *Seiso* (Limpieza): En esta etapa se lleva a cabo una limpieza integral, entendiendo por limpieza no solo al hecho de desechar cualquier tipo de suciedad sino también al hecho de identificar cualquier foco de suciedad para su eventual control y eliminación. Lo que se busca en esta etapa es también inculcar la limpieza como parte del trabajo diario, porque de esta manera, además

de obtener un área de trabajo agradable, pueden identificar algunos defectos como las condiciones de trabajo inseguras, por ejemplo.

- ✓ *Seiketsu* (Estandarización): En esta etapa se busca consolidar lo aplicado en las tres primeras etapas (clasificación, orden y limpieza), mediante su estandarización y mantenimiento y conseguir, de esta manera, beneficios perdurables para la organización. La empresa debe crear procedimientos estandarizados, de orden y limpieza, plasmados en documentos o imágenes visibles para todo el personal para facilitar la familiaridad con estos.
- ✓ *Shitsuki* (Autodisciplina): Se refiere a formar un hábito de la utilización de los anteriores métodos ya estandarizados. Esto es, lo que se busca es fomentar una cultura de autodisciplina para que la implementación de las 5 s sea perdure en el tiempo. Asimismo, se deben implantar una serie de controles visuales y auditorías para lograr este objetivo.

2.2.2 Mapas de Cadena de Valor (*Value Stream Maps*)

Un *Value Stream Map* (VSM) es la representación del flujo del producto, con información, que abarcan desde la emisión de órdenes hacia los proveedores hasta el despacho del producto final al cliente, pasando por el proceso completo de producción. El objetivo principal de un VSM es identificar potenciales mejoras mediante puntos en donde el tiempo se desperdicia debido a demoras y existencias en el inventario. En estos mapas también se logran identificar los tiempos en donde se agregan valor y los tiempos en donde no ocurre esto. *Lean Manufacturing* se enfoca en estos tiempos en donde no se agrega valor al producto, para conseguir las mejoras (Rivera, 2013). A continuación, se presenta un ejemplo de VSM (Figura 2), donde se visualiza la cadena de valor un producto XY:

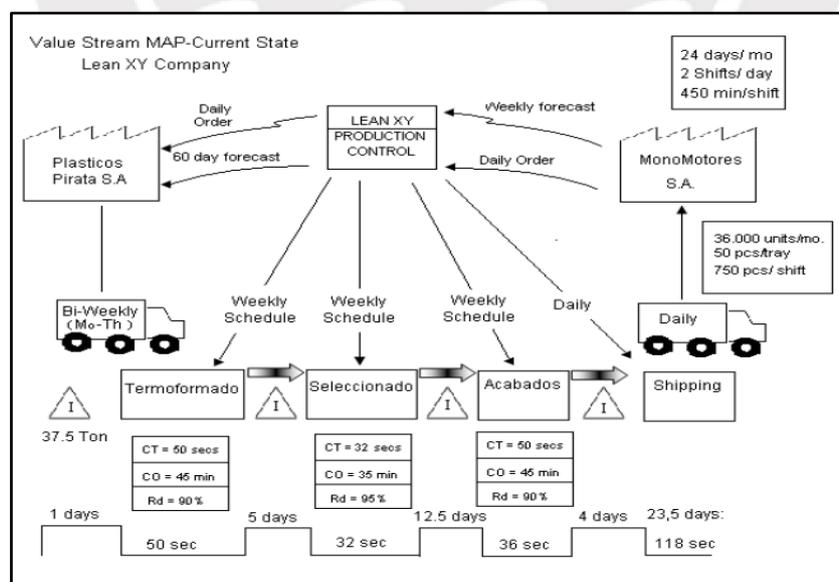


Figura 2: Mapa de la Cadena de Valor del producto XY
Fuente: (Rivera, 2013)

2.2.3 *Single Minutes Exchange of Dies (SMED)*

Es una de las técnicas *Lean* que busca la reducción de los tiempos de preparación de un equipo o también conocido como alistamiento. Estos alistamientos abarcan todas las tareas realizadas desde que sale la última unidad del primer tipo hasta que se produzca la primera unidad buena del segundo tipo. Asimismo, estas tareas se pueden clasificar en dos: internas, las cuales obligatoriamente deben realizarse cuando el equipo esté detenido y externas, que son aquellas que pueden efectuarse sin necesidad de que el equipo se detenga. A continuación, se presenta un procedimiento general para ahorrar disminuir los tiempos de alistamiento (Rivera, 2013):

- ✓ Analizar las actividades del alistamiento: Se trata de identificar aquellas actividades que no son necesarias para el alistamiento y que son llevadas a cabo solo por costumbre del operario. Las mismas deben ser eliminadas para reducir el tiempo de preparación del equipo.
- ✓ Identificar tareas internas y externas: Es necesario identificar a que tipo pertenece cada actividad del alistamiento. En base a esto se determinará la estrategia a seguir.
- ✓ Convertir todas las tareas internas que sea posible a tareas externas: Lo que se busca en esta parte es cambiar la mayor cantidad posible de tareas que se realizaban con la máquina detenida a realizarlas con la máquina en funcionamiento. Si bien, no todas las actividades internas podrán ser cambiadas a externas, mediante esta aplicación se logra reducir el tiempo no productivo de la máquina.
- ✓ Eliminar re-ajustes: Se busca eliminar o reducir al mínimo el uso de destornilladores y elementos de ajuste que demanden mucho tiempo. Se recomienda utilizar topes y sujetadores rápidos.
- ✓ Alistamiento cero: Como se sabe, el tiempo idóneo de preparación de máquina es cero. Por esto, el objetivo permanente es reducir hasta el mínimo posible el tiempo de alistamiento.

La aplicación del SMED brinda “una mayor capacidad de respuesta rápida a los cambios en la demanda (mayor flexibilidad de la línea), permitiendo la aplicación posterior de los principios y técnicas *Lean* como el flujo pieza a pieza, la producción mezclada o la producción nivelada” (Hernández & Vizán, 2013).

2.2.4 *Total Productive Maintenance (TPM)*

Según Hogg, el Mantenimiento Productivo Total se refiere a todos los esfuerzos por eliminar las averías en los activos de la organización, mediante un mantenimiento continuo y autónomo. La idea fundamental de esta técnica es que la buena conservación de los activos productivos es tarea de todo el personal, desde los operarios hasta los altos directivos. Con este objetivo, el TPM se propone cuatro objetivos (1993):

- ✓ Maximizar la eficacia de los equipos de producción
- ✓ Presentar un mantenimiento productivo para toda la vida útil del equipo, que incluirá mantenimiento preventivo y reparaciones

- ✓ Comprometer a todas las áreas que planifican, usan o mantienen los equipos
- ✓ Implicar de forma activa a todo el personal

Mediante el esfuerzo colectivo de todo el personal se busca reducir los seis tipos de pérdidas que restan eficacia a los equipos. En la tabla 1 se muestran estas pérdidas:

Tabla 1
Las seis grandes pérdidas en los equipos productivos

Tipo	Pérdida
Tiempo muerto	1. Averías debido a fallas en el equipo
	2. Preparación y ajustes (cambios de moldes, ajustes de herramientas)
Pérdidas de velocidad	3. Tiempo vacío y paradas cortas (bloqueo de trabajo en rampas)
	4. Velocidad reducida (diferencia entre velocidad nominal y real)
Defectos	5. Defectos en el proceso y repetición de trabajos (desperdicios y defectos de calidad)
	6. Menor rendimiento entre la puesta en marcha de las máquinas y la producción normal

Fuente: (Hernández & Vizán, 2013)

2.2.5 Kanban

Según Hogg (1993), *Kanban* es un sistema de control y programación de la producción que está basado en la utilización de tarjetas y busca la producción de la cantidad justa en el momento en el que se requiere. Esta herramienta está basada en un sistema *pull*. Esto es, en cada proceso se retiran las piezas que se necesitan de los procesos anteriores y, en este, se produce solamente la cantidad que fue retirada, con la finalidad de reaprovisionar solamente el material vendido y evitar los stocks no deseados. En ese sentido, las tarjetas *Kanban* sirven como señal de órdenes de fabricación entre las diferentes estaciones de trabajo. Entre la información que debe estar incluida en la tarjeta *Kanban* se encuentran: la denominación y código de la pieza a fabricar, cantidad de piezas a producir, lugar de almacenaje, etcétera. Existen dos tipos de *Kanban*, que se presentan a continuación (Ver Figura 3):

- ✓ *Kanban* de producción: Indica la cantidad de piezas o productos que se debe fabricar para el proceso posterior.
- ✓ *Kanban* de transporte: Indica la cantidad de piezas o productos que se retirarán del proceso anterior.

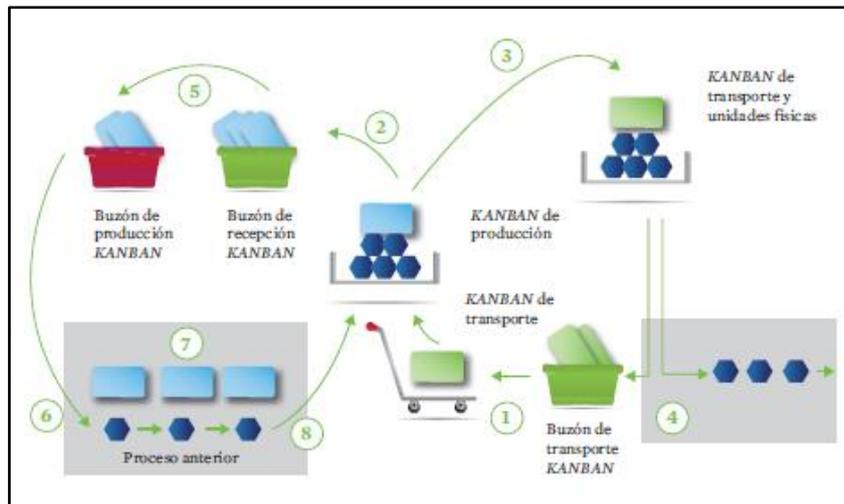


Figura 3: Esquema del sistema Kanban
Fuente: (Hernández & Vizán, 2013)

2.2.6 Jidoka

Jidoka es uno de los dos pilares de la casa *Lean* junto con *Just In Time* (ver Figura 4). Esta técnica *Lean* propone que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad o auto inspección. Esto es, si hubiera algún problema o desviación, el proceso se detendrá por el operario o por cualquier persona involucrada en el proceso, lo cual impide que se sigan procesando estas piezas defectuosas. No hay ningún tipo de distinción entre operarios e inspectores de calidad en este aspecto, ambos están en la capacidad de detener el proceso, en la misma línea de producción, si advierten alguna inconformidad. La filosofía del *Jidoka* enuncia que cada operario garantiza la calidad de su trabajo y se enfatiza en prevenir defectos más que en hallarlos, para que de esta forma se evite que una pieza defectuosa siga avanzando en la línea de producción. A continuación, se describe en qué consiste la dinámica de esta herramienta *Lean* (Hernández & Vizán, 2013):

- ✓ Cada operario puede pulsar un botón cuando evidencie una irregularidad en el proceso, esta emitirá una señal (*andon*) que será una luz, lo cual pondrá en aviso a todo el personal de los problemas de la operación asignada a ese operario
- ✓ Existen tres tipos de luces en este sistema de señales: la luz verde, que significa que no hay problemas y es la que está usualmente activa; la luz ámbar, que evidencia que la producción tiene un retraso, pero el operario que lo detectó está en la capacidad de solucionarlo; y la luz roja, que alerta de un problema grave, se detiene la producción y el encargado y demás operarios se reúnen para buscar una solución a este problema.

2.2.7 Just In Time

Just In Time es otro de los pilares de la casa *Lean* junto con *Jidoka* (ver Figura 4). Rivera (2013) afirma que la idea fundamental del *Just In Time* es “tratar de que los materiales y productos se entreguen en el momento justo en el que se van a usar, de tal manera que se reduzca la cantidad promedio de inventarios de materia prima, productos en proceso y productos terminados”. Se trata de un sistema *pull*, donde

solamente se produce cuando el proceso siguiente solicita unidades mediante un *Kanban*. Cuando el cliente toma cierta cantidad de unidades del inventario de producto terminado, se envía al proceso anterior el *Kanban* asociado a estas unidades, señalando la necesidad de repararlas.

Just in time señala que, si no hay demanda ni flujo de tarjetas *Kanban*, no se debería activar la producción, ya que se busca producir solamente lo necesario, en lotes más pequeños y con tiempos de respuesta más cortos, evitando la acumulación innecesaria de producto terminado.



Figura 4: Casa Lean
Fuente: (Paladugu & Grau, 2019)

2.2.8 Heijunka

Este término proviene de la búsqueda por lograr que el producto fluya continuamente y cada vez se produzca en lotes más pequeños. Esto es, el término *Heijunka* implica definir la mezcla de productos en el intervalo más pequeño posible, la cual se repite a lo largo de toda la jornada de producción, tal como se muestra en la Figura 5. “El ideal es la producción y movimiento de una unidad de producto a la vez (*one piece flow*). Se puede intuir que esta producción suavizada genera más movimientos de materiales, por lo que la infraestructura de manejo de materiales debe adaptarse a esta realidad para evitar un desbordamiento de costos por este concepto” (Rivera, 2013).

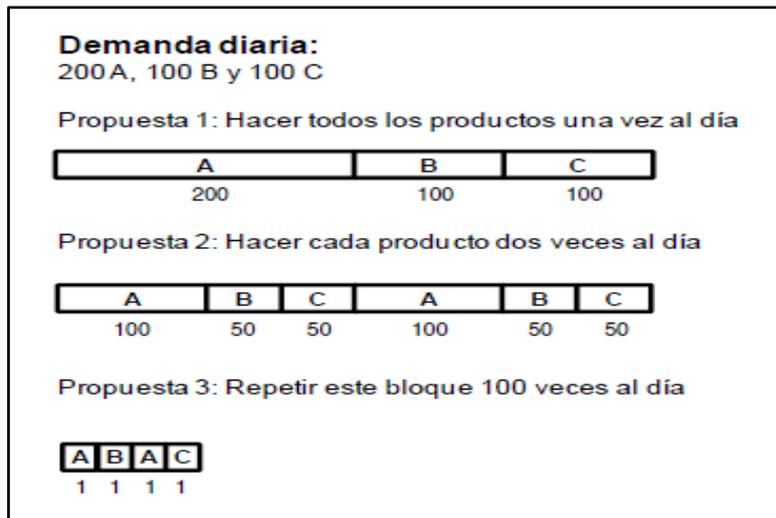


Figura 5: Producción suavizada (Heijunka)
Fuente: (Rivera, 2013)



3 INVESTIGACIONES PREVIAS

A continuación, se presentan (poner número de casos de estudio) casos de estudio. En las cuales se analizan la de elaboración de propuestas de mejoras en base a las herramientas de *Lean Manufacturing*. Dichos casos servirán como guía para el desarrollo del presente estudio; se procederá por hacer un resumen de cada uno y, posteriormente, realizar el análisis y comparación de resultados.

3.1 Caso de estudio N° 1

En la Tabla 2, se presenta la información del primer caso de referencia, en donde el estudio realizado se basó en la implementación de herramientas de manufactura esbelta aplicadas en la propuesta de mejora de un laboratorio químico de análisis de minerales de una empresa comercializadora.

Tabla 2: Caso de la empresa LOGISTICA SAC

Título	Herramientas de Manufactura Esbelta aplicadas a una propuesta de mejora en un laboratorio químico de análisis de minerales de una empresa comercializadora.
Institución	Pontificia Universidad Católica del Perú
Presentada por	Evelyn Judith Ruiz Castillo, María del Carmen Mayorga Peña (2013)
Objetivo del Estudio	
<i>“Mejorar los tiempos de entrega de los resultados de análisis de minerales encargados al laboratorio de la empresa, de 16 a 4 días”</i>	
Metodología de Implementación	
<p>Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Revisión teórica de los temas de determinación de minerales y de manufactura esbelta. - Descripción tanto de la organización de la empresa como los procesos por los que pasan los minerales. - Diagnóstico de los principales problemas en temas de planificación y operaciones. - Se proponen mejoras de acuerdo con los hallazgos obtenidos en el diagnóstico - Estudio económico en función a las mejoras propuestas respecto a la situación actual - Conclusiones y recomendaciones del estudio. 	
Resultados	
<ul style="list-style-type: none"> - Luego de haber realizado la evaluación económica, se concluyó que la inversión requerida para la implementación de la propuesta de mejora era justificada. Esto debido a que el estudio económico arrojó un VAN positivo y una TIR por encima del 70%, que era la mínima rentabilidad que la empresa aceptaría. - Aumentando la cantidad de analistas (a 30) y aplicando las herramientas de <i>Lean Manufacturing</i> propuestas, se reducirán los tiempos de entrega de los resultados de análisis de materiales de 16 a 4 días 	

Fuente: (Ruiz & Mayorga, 2013)

Descripción general

Este caso de estudio está basado en los problemas existentes en temas de planificación y tiempos de servicios del laboratorio de la empresa LOGISTICA SAC. Esta empresa se dedica a brindar servicios de almacenamiento, embarque, desembarque y análisis químico al sector minero de nuestro país. El estudio de esta tesis se enfoca principalmente en los procesos de apoyo: mantenimiento de equipos e instalaciones y servicio de análisis químico (se cuenta con un laboratorio interno); siendo esta última la razón de ser de la investigación. Las pruebas que se realizan en este laboratorio son principalmente para determinar la composición de tres elementos comercializables: Ag, Au y el concentrado principal Pb, Cu o Zn (Ruiz & Mayorga, 2013). En la figura N° 6 se muestra la proporción de tipos de muestra que ingresan al laboratorio de LOGÍSTICA SAC.

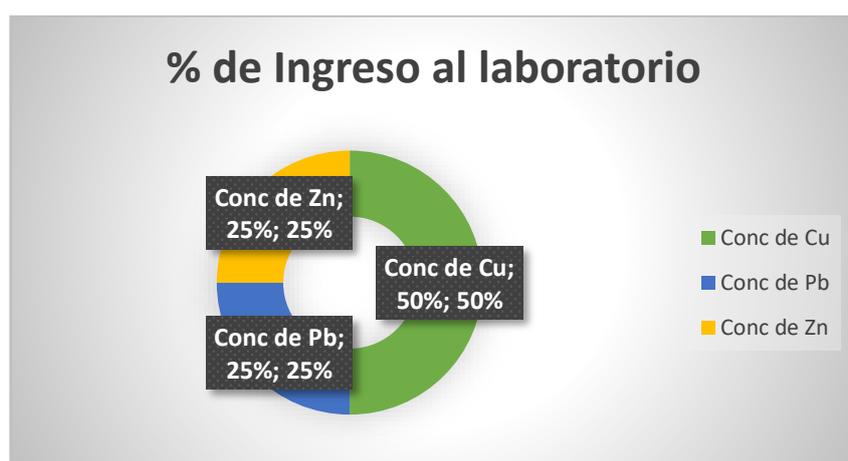


Figura 6 Porcentaje de ingreso de muestras vs Tipo de Concentrado
Fuente: (Ruiz & Mayorga, 2013) Elaboración propia

Entre las principales herramientas *Lean* que se contemplaron en la metodología de implementación para este laboratorio se encuentran el VSM inicial, Manufactura Celular, 5S, *Kanban*, Control Visual, SMED, VSM futuro. Asimismo, se formaron familias a partir de las cuales se identificó la familia de productos y, en base a estas familias, se aplicaron las herramientas *Lean*. En la figura 7 se muestra la clasificación de servicios en tres familias (ver colores), las cuales son Absorción, Volumetría y Fundición.

Análisis	Pesado	Digestión	Acondicionado	Filtración	Titulación	Lectura	Fundición	Copelación	Reporte
Ag	X						X	X	X
Au	X						X	X	X
As	X	X	X			X			X
Sb	X	X	X			X			X
Bi	X	X	X			X			X
Fe	X	X	X			X			X
Cu	X	X	X		X				X
Pb	X	X	X	X	X				X
Zn	X	X	X	X	X				X

Figura 7 Formación de familias de servicios
Fuente: (Ruiz & Mayorga, 2013)

En este estudio se evaluaron ciertos aspectos para tener idea del diagnóstico y situación inicial del laboratorio. Entre estos aspectos principales se encuentran la eficiencia de utilización de los recursos, no cubrir la demanda de los servicios adicionales del laboratorio por falta de equipos y *Know How*, y el tiempo que pasa para entregar los resultados de los análisis químicos.

En cuanto a las propuestas de mejora, se propusieron acciones para mejorar el VSM inicial del laboratorio. En ese sentido, se planteó la división de cada muestra que llega al laboratorio en tres partes iguales, para que estas se trabajen en forma paralela en cada celda conformada por cada familia de productos (Absorción, Volumetría y Fundición). De esta manera, se eliminarían las esperas innecesarias y se reducirían los tiempos de entrega. Asimismo, con el mismo propósito, se aumentaron a 2 y 3 turnos de trabajo y se implementaron 3 hornos de Copelación y Fundición. Esto, sumado con la aplicación de otras herramientas de *Lean*, lograron la reducción del tiempo de entrega de 16 a 4 días (Ruiz & Mayorga, 2013).

Aplicaciones

De acuerdo con el presente caso de estudio, se puede proponer la aplicación de esta metodología de implementación de herramientas de *Lean Manufacturing* a otros tipos de laboratorios como los clínicos, por ejemplo. Esto es porque en este tipo de laboratorios también se requieren pruebas sucesivas a una misma muestra y con la propuesta de este caso de estudio, el tiempo de entrega de resultados sería mucho menor. Asimismo, también podría aplicarse un análisis de la distribución de las celdas por medio del Diagrama de Espaguetti para que de esta forma no se ocasione tráfico entre los analistas.

Otra aplicación de esta metodología podría estar en los laboratorios químicos en general, debido a que estos son muy semejantes a los clínicos. En ese sentido, también podría aplicarse una redistribución de celdas (previamente implementadas por familia de productos).

3.2 Caso de estudio N° 2

En la Tabla 3, se presenta la información del segundo caso de referencia, en donde el estudio realizado se basó en la aplicación de la metodología *Lean Manufacturing* en un laboratorio de análisis clínicos en Argentina.

Tabla 3: Caso del Laboratorio Clínico Domecq & Lafage

Título	Aplicación de la metodología <i>Lean Manufacturing</i> en un laboratorio de análisis clínicos
Institución	Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA)
Presentada por	Manuel Fernández Jurado, Esteban Taccone, Ignacio Thomson (2013)
Objetivo del Estudio	
“Reducir el tiempo de espera promedio de los resultados de las pruebas del laboratorio empleando herramientas de <i>Lean Manufacturing</i> ”	
Metodología de Implementación	
<p>Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - VOC (<i>Voice Of Customer</i>): Identificación de momentos de la verdad, del valor - Diagnóstico y análisis: Estudio de procesos, estudio de la demanda, Mapa del Flujo de Valor, Estudio de <i>Layout</i>, identificación de los 8 desperdicios. - Oportunidades de mejoras de impacto: Reducción de desperdicios, rediseño del <i>Layout</i>, Balance del <i>Takt</i>, simulación de mejoras - Conclusiones del estudio 	
Resultados	
<ul style="list-style-type: none"> - Al simular las propuestas de mejora y comparar las tres alternativas propuestas, el número 3 resultó como la más beneficiosa, de la cual se presentan sus principales ventajas a continuación: <ul style="list-style-type: none"> ✓ En cuanto a la utilización de los recursos se obtuvo una mejora de del 19% en los cajeros de urgencia (CU), 14% en los extraccionistas especiales (EE), 3% en los extraccionistas de urgencias (EU). ✓ En cuanto a los tiempos de espera promedio se obtuvo una reducción del 1% para los pacientes especiales (E), 52% para los pacientes rutinarios (R) y 78% para los pacientes de urgencias (U). ✓ En general, los recursos necesarios disminuyeron de 201 trabajadores a 187 (reducción del 7%). 	

Fuente: (Fernández et al., 2012)

Descripción general

La metodología de este estudio empezó por el VOC (*Voice Of Customer*), lo que significa que, en primer lugar, se buscó la opinión de los clientes, preguntándoles qué era lo que más valoraban del servicio. Esta encuesta realizada en el año 2011 por la empresa reflejó las categorías más valoradas por los clientes, las cuales se listan a continuación (Fernández et al., 2012):

- Tiempos y agilidad en la atención
- Calidad de atención
- Confortabilidad en la sala de espera
- Más información acerca de los demás servicios que ofrece el laboratorio

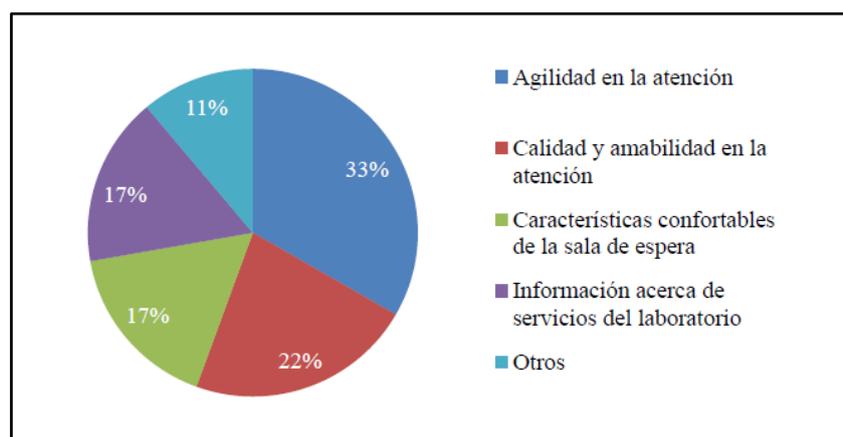


Figura 8 Porcentaje de las áreas de valor desde el punto de vista del cliente
Fuente: (Fernández et al., 2012)

En la figura 8 se observa que el mayor porcentaje incurre en el área de valor denominado “Agilidad en la atención”. Por esto, en esta investigación, se puso especial énfasis para mejorar al tiempo de espera: “La agilidad es un concepto muy estrechamente vinculado al pensamiento esbelto, que pone al flujo sin obstáculos como consigna base en toda decisión de diseño a afrontar” (Fernández et al., 2012).

Luego, se abordó el diagnóstico y análisis del laboratorio, donde se realizó, en primer lugar, el estudio de la demanda de pruebas de laboratorio. En este estudio, se clasificó la demanda por tipo de atención (Guardia, No Guardia), horario (turnos de la semana) y centro de atención, los cuales son el Laboratorio Central (LC), el Centro Materno Infantil (CMI) y el Centro de Emergencias (EM). Una vez observadas las cifras, se concluyó que el estudio debería estar enfocado en el proceso de atención de pacientes ambulatorios que concurren al laboratorio central (LC) en horario central horario normal, ya que representaba el 78% del total de las prácticas procesadas.

Por otro lado, en cuanto al estudio de los procesos, uno de los problemas fundamentales que se identificó en este estudio es la falta de capacitación a los cajeros en los centros de atención, ya que usualmente realizaban llamadas a la directora técnica del laboratorio para absolver dudas en el momento de la atención al cliente. Esto es una clara evidencia de la dilatación del tiempo de atención, que se mencionó

anteriormente. Luego, para el análisis de los datos de entrada para la simulación, se utilizó el Input Analyzer de Arena, en la cual se estudió el comportamiento estadístico de los datos, buscando un ajuste para determinar los parámetros que se colocaron en el Arena. A continuación, en las figuras 9, 10 y 11, se presentan los resultados:

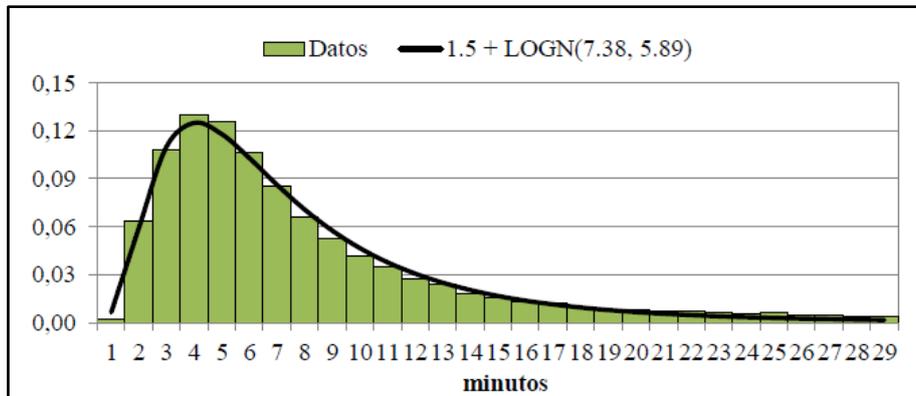


Figura 9 Ajuste de la distribución de los TS en boxes de rutinas
Fuente: (Fernández et al., 2012)

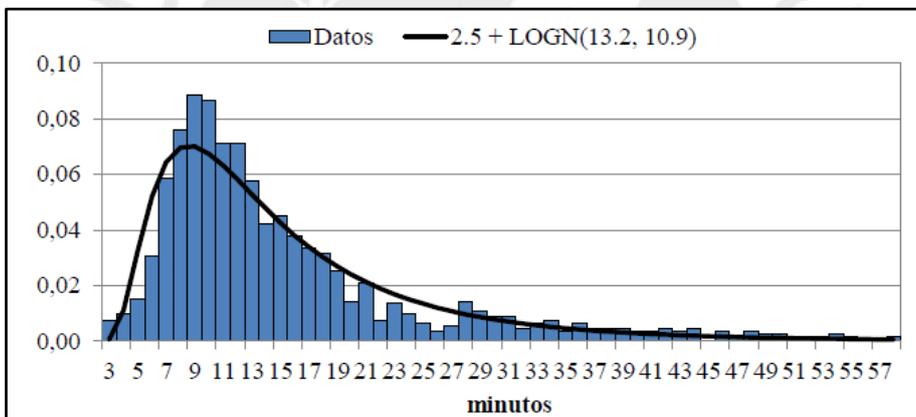


Figura 10 Ajuste de la distribución de los TS en boxes de especiales
Fuente: (Fernández et al., 2012)

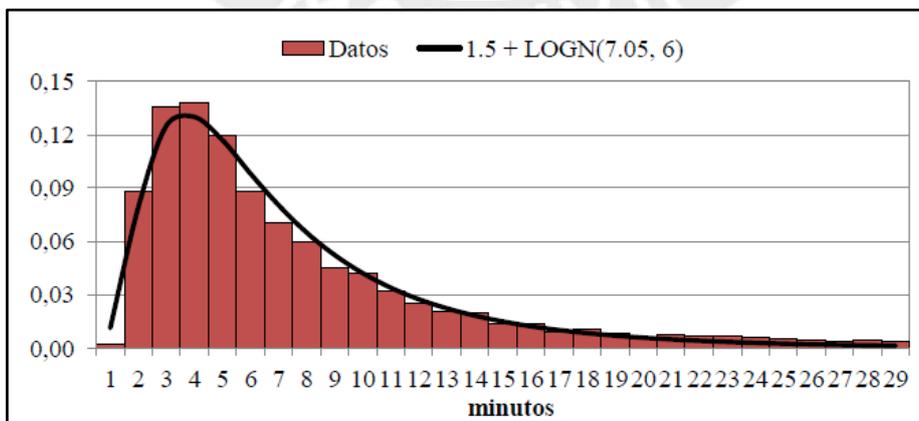


Figura 11 Ajuste de la distribución de los TS en boxes de urgencias
Fuente: (Fernández et al., 2012)

En estas gráficas se observa que los datos que fueron recolectados previo al análisis en el Input Analyzer se ajustan a la distribución Lognormal, para el tiempo de servicio en boxes de rutinas (TS: $1.5 + \text{LOGN}(7.38, 5.89)$); distribución Lognormal para el tiempo de servicio de boxes de especiales (TS: $2.5 + \text{LOGN}(13.2, 10.9)$); y distribución Lognormal para el tiempo de servicio de boxes de urgencias (TS: $1.5 + \text{LOGN}(7.05, 6)$).

A continuación, se citan los resultados de la mejor de las tres alternativas con propuesta de mejora, que fueron simuladas con los datos de entrada obtenidos y mencionados en la sección anterior:

Los cambios propuestos que sí fueron incorporados al simulador fueron la eliminación del sistema de ruteo actual, la nueva dotación del personal balanceada al *takt time* y la eliminación de boxes que atiendan solamente a rutinas, quedando solamente boxes con prioridad para urgencias y boxes con prioridad para especiales, pudiendo atenderse rutinas en cualquiera de ellos. Estas mejoras además de simplificar el sistema permiten importantes reducciones en los tiempos de espera (en un 54%, de 18,37' a 8,52') y requerimientos de recursos (en un 7%, de 201 a 187 media-hora-hombre) y además, aumentos en la utilización de recursos (en un 6%, de 82% a 87%) y en el nivel de servicio, logrando aumentar la cantidad de pacientes en estado verde en un 44% (de 64,26% a 92,57%) para las rutinas y en un 24% para los urgentes (de 79,38% a 98,44%) (Fernández et al., 2012) .

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se pueden mencionar respecto a este caso de aplicación, se encuentran aquellos laboratorios que pertenecen a clínicas y que mayormente constan de pruebas invasivas, donde se realizan extracciones de muestra, tales como sangre, orina, entre otros. Asimismo, cabe considerar que estos laboratorios deben presentar un tiempo de espera entre la extracción y la entrega de los resultados, y debe presentar una demanda estacionaria, marcada notablemente por los horarios

De esta manera, la metodología y herramientas aplicadas en este caso de estudio podrían brindar resultados satisfactorios y fructíferos.

3.3 Caso de estudio N° 3

En la Tabla 4, se presenta la información del tercer caso de referencia, en donde el estudio realizado se basó en la aplicación de la metodología *Lean Manufacturing* en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Escuela de Ingeniería Julio Garavito.

Tabla 4: Caso del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Julio Garavito

Título	Diseño de una herramienta guía para la implementación de <i>Lean</i> en laboratorios de educación superior.
Institución	Universidad de Medellín
Presentada por	Diana Bocajá, Ivonne Castiblanco, Jairo Chacón (2013)
Objetivo del Estudio	
<ul style="list-style-type: none"> - Reducir los tiempos de búsqueda de información de maquinaria, de registro - Eliminar el sistema físico de almacenamiento de información en su totalidad 	
Metodología de Implementación	
<p>Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fase de estructuración: Determinar problemas, identificar causas raíz y determinar los objetivos de mejora o KPI (Key Performance Indicators). - Fase de ejecución: Establecer e implementar los cambios considerados pertinentes para el cumplimiento de los KPI's planteados, utilizando las herramientas <i>Lean</i> propuestas tales como VSM (<i>value stream mapping</i>), 5 S's, gestión visual, <i>Heijunka</i>, etc. - Fase de comprobación: Luego de la implementación de las herramientas <i>Lean</i>, se medirán los KPI's actuales, con la finalidad de comprobar si los indicadores han mejorado a comparación de la situación actual. - Fase de estandarización: En esta etapa se procede a estandarizar aquellas mejoras que generan un impacto positivo en el rendimiento de los procesos. Se estandarizan con el objetivo de mantenerlas. 	
Resultados	
<ul style="list-style-type: none"> - Al ejecutar las propuestas de mejora y comparar los resultados con la situación inicial del laboratorio y los KPI's propuestos, se obtuvieron los siguientes resultados: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Debido a la eliminación del diligenciamiento manual y demás reprocesos, el tiempo del proceso de registro disminuyó en un 50%, lo cual es mayor al objetivo planteado inicialmente. ✓ En cuanto a los tiempos de búsqueda en la base de datos de registro y los tiempos de préstamo, estos se redujeron en un 95% y 50% respectivamente. ✓ En cuanto al espacio físico utilizado, este fue reducido notoriamente debido a que ya no se requiere de impresión ni almacenamiento, lo que trae consigo, también, la reducción de uso de papel, energía, tinta, etc. Estas reducciones no fueron cuantificadas en el estudio. 	

Fuente: (Bocajá et al., 2020)

Descripción general

Este caso de estudio se realizó en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Escuela Colombiana de Ingeniería (ECI), en donde existía falta de prácticas adecuadas para la disminución de los desperdicios, lo cual es interpretado como la falta de disposición de equipos, falta de orden y trazabilidad de movimientos tanto de equipos como de herramientas del laboratorio. Para la metodología de aplicación, se siguieron cuatro pasos los cuales son la fase de estructuración, de ejecución, de comprobación y la de estandarización, las cuales se resumen a continuación.

- Fase de estructuración

En primer lugar, este estudio se enfocó en los procesos de registro y préstamo de equipos y el proceso de préstamo de herramientas, ya que estas actividades presentaban desperdicios y largos tiempos de ejecución. En ese sentido, se realizaron entrevistas a los trabajadores del laboratorio para que se conozca a grandes rasgos los problemas de la situación actual. Después, se realizó el análisis de estos problemas con los 5 why's, para identificar las causas raíz de estos problemas identificados en los procesos estudiados, donde se identificaron algunos subproblemas como el hecho de que el registro de maquinaria era elaborado a mano y generalmente presentaba varios reprocesos. Otro de los problemas principales identificados era la inflexibilidad del sistema de préstamos y la deficiente actualización de inventarios. Asimismo, estos formatos de registro eran almacenados en cajones que no estaban etiquetados ni organizados. Como resultado de la mencionada herramienta de los 5 why's, se propusieron una serie de objetivos y KPI's para el correcto control de las cifras, que se muestran a continuación (Bocajá et al., 2020):

- Identificar 100% de maquinaria y equipos del laboratorio
- Tener el 50% de la maquinaria guardada en el sistema con información completa
- Eliminar por completo el sistema físico de información
- Reducir en un 20% el tiempo de registro

- Fase de ejecución

Luego de haber identificado los problemas, en esta etapa se decidió implementar una base de datos digital para facilitar el proceso de registro, la cual debería ser actualizada en tiempo real y tener todos los datos de las maquinarias, para ser consultadas en cualquier momento. Asimismo, para el caso de proceso de préstamo, se eligió implementar una aplicación digital, que sea flexible a cambios y que tenga en consideración las solicitudes de préstamos e inventarios.

- Fase de comprobación

Luego de haber implementado las propuestas de mejoras y de comparar los nuevos tiempos con los de la situación inicial, se obtuvieron los siguientes resultados (Bocajá et al., 2020):

- El tiempo de proceso de registro se redujo en un 50%, lo cual es un 30% extra a lo que se había propuesto en la fase de estructuración.
- El tiempo de búsqueda de registros se redujo en un 95%.
- El tiempo de préstamo de equipos se redujo en un 50%.
- Reducción del uso de papel, energía, tinta y elementos debido a la digitalización de estos procesos.

En la figura 12, se observan las cifras objetivo, donde se compara la situación inicial (antes de la implementación de mejoras), situación actual (luego de la implementación de mejoras) y KPI (establecidas en la fase de estructuración).

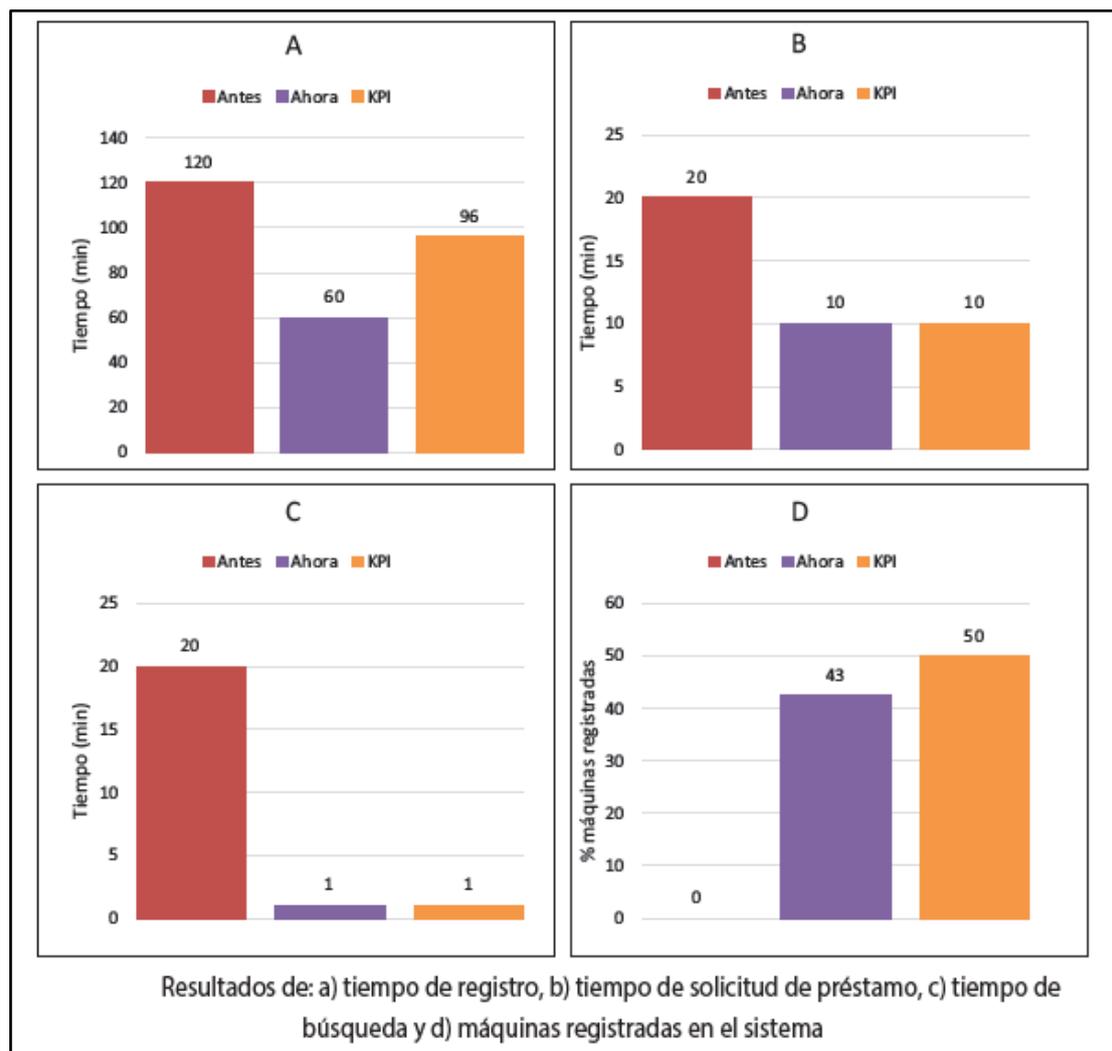


Figura 12 Gráfico de comparación: situación inicial, actual y objetivo
Fuente: (Bocajá et al., 2020)

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se pueden mencionar respecto a este caso de aplicación, se encuentran aquellos laboratorios que pertenecen a centro de estudios superiores tales como universidades e

institutos, en donde se cuenta con el servicio de préstamo tanto de equipos como de instalaciones y maquinaria interna del laboratorio. Asimismo, cabe considerar que esta metodología se puede aplicar a aquellos laboratorios donde sea fundamental llevar un control adecuado de la existencia de equipos y tecnología del laboratorio para que no exista ningún problema con el tema de capacidad de respuesta ante las solicitudes de préstamo por parte del alumnado o profesorado de estas instituciones.

De esta manera, la metodología y herramientas aplicadas en este caso de estudio podrían brindar resultados satisfactorios y fructíferos.



3.4 Caso de estudio N° 4

En la Tabla 5, se presenta la información del cuarto caso de referencia, en donde el estudio realizado se basó en la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing* en el área de microbiología en un laboratorio de calidad.

Tabla 5: Caso del laboratorio de una empresa de servicios integrales para la industria acuícola y alimentaria

Título	Propuesta de mejora a la productividad del área de microbiología en un laboratorio de calidad mediante herramientas de <i>Lean Manufacturing</i>
Institución	Universidad Austral de Chile
Presentada por	César Felipe Ampuero Aguila (2017)
Objetivo del Estudio	
- <i>Implementar una propuesta de mejora de los procesos productivos del laboratorio de Microbiología de la empresa para disminuir los desperdicios que generan un aumento en los tiempos del proceso.</i>	
Metodología de Implementación	
<p>Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de la situación actual del Laboratorio de Microbiología (revisión de la información propia del Laboratorio de Microbiología, estudio de la base de datos actual de los servicios realizados hasta la actualidad por el laboratorio, diagnóstico de la situación actual del laboratorio de microbiología) - Identificación de las actividades que no generan valor en el flujo de procesos del Laboratorio de Microbiología (elaboración del Value Stream Mapp actual y análisis del mismo) - Determinación de las herramientas <i>Lean</i> a utilizar (definición de los criterios para realizar elección de herramientas, evaluación y elección de herramientas de <i>Lean Manufacturing</i>) implementación de las herramientas <i>Lean</i> elegidas) - Elaboración del plan de mejora de los procesos productivos del laboratorio de microbiología (propuesta de mejora, implementación piloto y comparación con la situación actual) 	
Resultados	
<ul style="list-style-type: none"> - En cuanto a los reprocesos, estos se redujeron en 21% en los días de alta demanda, 24% en los días de mediana demanda y 26% en los días de baja demanda y que, en general, los reprocesos se redujeron en un 23% (de 178 a 137 reprocesos). - Otro indicador tiene que ver con la cantidad de reclamos habidos en el laboratorio que, con la implementación piloto, se redujeron en un 47% (de 15 a 8 reclamos). 	

Fuente: (Ampuero, 2017)

Descripción general

Este caso estudia trata sobre la aplicación de *Lean Manufacturing* en el sector acuícola y alimentaria, donde predominan los temas de salubridad y calidad de alimentos para los clientes. Esta metodología fue aplicada a un laboratorio calidad de una empresa que, por razones de confidencialidad, no se conoce su identidad.

La empresa cuenta con distintas áreas, las cuales son el área de medioambiente, área de salud, área de inocuidad, laboratorio de química, laboratorio de microbiología físico organoléptico, área de certificación y muestreo, área de capacitación. Esta investigación estuvo enfocada en el laboratorio de microbiología físico organoléptico, ya que en los últimos años hubo un aumento de la demanda, convenios con empresas alimentarias y aumento de pruebas a realizar provenientes de la misma empresa.

La metodología de este caso de estudio siguió ordenadamente los siguientes pasos: análisis de la situación actual del laboratorio de microbiología, donde se realizó el levantamiento de información, revisión de base de datos y el diagnóstico de la situación actual; identificación de actividades que no generan valor, donde se estudió el flujo de procesos del laboratorio, elaboración del VSM actual y análisis del mismo; determinación de herramientas *Lean*, donde se definieron los criterios de elección y se realizó la selección de herramientas; y, finalmente, se llevó a cabo el plan de mejora de procesos productivos del laboratorio, donde se definió la propuesta de mejora, se implementó el plan piloto y se hizo la comparación con la situación actual del laboratorio (Ampuero, 2017).

Luego del análisis del VSM actual del laboratorio, se identificaron principalmente dos desperdicios:

- Despilfarro por desplazamiento o movimiento innecesarios
- Despilfarro por procesos o reprocesos

El primero de los desperdicios se reflejó en la búsqueda de los archivadores, que muchas veces demandaba mucho tiempo para el analista, también la falta de materiales en la estación de trabajo, lo cual demandaba también tiempo de búsqueda. En el caso del segundo desperdicio, este se debía a los errores de mecanografiado o mala lectura de la orden de trabajo, lo que se debía principalmente al ruido e interrupciones que existía en el laboratorio.

Luego del análisis de la situación actual y la selección de herramientas *Lean* a utilizar, las cuales fueron 5s, Control Visual, Estandarización de Procesos y *Kanban* adaptado, se realizó la implementación del piloto para, posteriormente, realizar la comparación entre los resultados del piloto y la situación inicial del laboratorio. Estas comparaciones se presentan a continuación:

En la figura 13 se presenta las cifras de los reprocesos en los días en los que se obtuvo alta, media y baja demanda, en la cual se puede observar que estos valores se redujeron de 77 a 61 errores para días de alta demanda, lo que representa un 21%; de 54 a 41 errores para días de mediana demanda, lo que

representa un 24%; y de 47 a 35 errores para los días de baja demanda, lo que representa 26% de reducción.

Indicadores de Mejora [Dia]			
Indicador	Situación Actual	Implementación Piloto	Δ %
Reprocesos [A]	77	61	-21%
Reprocesos [M]	54	41	-24%
Reprocesos [B]	47	35	-26%
Indicador general de reprocesos [Dia]			
Indicador	Situación Actual	Implementación Piloto	Δ %
Reprocesos	178	137	-23%

Figura 13 Comparación de reprocesos actual vs piloto
Fuente:(Ampuero, 2017)

Asimismo, en la figura 14 se presenta la comparación entre la situación actual y el piloto en cuanto al número de reclamos, en donde se aprecia la cantidad reducida y el porcentaje que representa esta mejora.

Indicador de Mejora [Semana]			
Indicador	Situación Actual	Implementación Piloto	Δ %
Reclamos	15	8	-47%

Figura 14 Comparación de reclamos actual vs piloto
Fuente:(Ampuero, 2017)

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se pueden mencionar respecto a este caso de aplicación, se encuentran aquellos laboratorios que pertenecen al rubro alimentario, donde prevalece la importancia por la salubridad y calidad de los alimentos. Un claro ejemplo de este tipo de laboratorios es el CITEacuícola UPCH, que es un centro de transferencia tecnológica que se encarga de contribuir a la productividad de las empresas locales peruanas del sector acuícola. Este tipo de laboratorios, no presentan una demanda constante o definida, ya que los servicios son generalmente aleatorios y por pedido.

De esta manera, la metodología y herramientas aplicadas en este caso de estudio podrían brindar resultados satisfactorios y fructíferos.

3.5 Caso de estudio N° 5

En la Tabla 6, se presenta la información del quinto caso de referencia, en donde el estudio realizado se basó en la aplicación de herramientas de *Lean* para aumentar la eficiencia de un laboratorio de cateterismo.

Tabla 6: Caso del laboratorio clínico de cateterismo Cath Lab

Título	<i>Applying Lean tools in the clinical laboratory to reduce turnaround time for blood test results</i>
Institución	<i>Istanbul Technical University Turkey</i>
Presentada por	<i>Berna Umut, Peiman Alipour Sarvari (2016)</i>
Objetivo del Estudio	
- <i>Reducir los retrasos en los análisis de sangre en un 50% aplicando las herramientas de Lean Manufacturing.</i>	
Metodología de Implementación	
Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los siguientes pasos:	
<ul style="list-style-type: none"> - En primer lugar, se definió la población de estudio, en la cual se menciona que se abordan 30 tipos de procedimientos de laboratorios. - Se realizó la recolección de datos del laboratorio Cath Lab, los cuales comprenden desde que se hace la solicitud de prueba de sangre hasta que el resultado sea entregado. - Se realizó el análisis desde la perspectiva <i>Lean</i>, utilizando herramientas de toma de decisiones y resolución de problemas. - Se realizaron VSM y el Diagrama de Espaguetti para analizar la data actual y los posibles estados futuros. 	
Resultados	
<ul style="list-style-type: none"> - Se redujo el tiempo de espera de resultados de las pruebas de sangre en más del 50% aproximadamente, comparado con la situación inicial de Cath Lab. - Se aumentó considerablemente el nivel de satisfacción, reduciendo los tiempos de entrega de los resultados de las pruebas de sangre y también se mejoró la eficiencia general del laboratorio. - Mejora del cuello de botella (pruebas de sangre) mediante liberación de capacidad, empleos a tiempo completo. 	

Fuente: (Umut & Alipour, 2016)

Descripción general

Este caso de estudio comprende la aplicación de herramientas *Lean* para la reducción de tiempos de entrega de resultados de sangre y la mejora de eficiencia general del laboratorio de Cath Lab. Como antecedente, el laboratorio de cateterismo presentó un aumento de la demanda del 26% en el año 2012. A partir de este hecho es donde se empezaron a evidenciar los problemas, tales como necesidad de horas extras, aumento de costos y cansancio del personal.

Sin embargo, el problema principal que esto acarrea era la demora de los resultados de las pruebas de sangre, que era prerrequisito para las pruebas principales de cateterismo. Por ejemplo, en el segundo semestre del 2013, se comenzaron tarde alrededor de 324 de 1250 casos totales, lo que representaba el 26%. Esto se debía principalmente a la demora de los resultados de la prueba de sangre, como se mencionó anteriormente, y reprogramaciones de pruebas debido al hecho de que también se recibían pacientes por emergencia en Cath Lab. Asimismo, existían cancelaciones de pruebas, demoras debido a las pruebas inmediatamente anteriores, espera del material, tardanza de enfermeras, entre otros (Umut & Alipour, 2016). En la figura 15, se muestran estos problemas expresados en porcentajes para el año 2014 y también se muestran datos del 2015, luego de la mejora, en donde se aplicaron herramientas de *Lean Manufacturing*. Se puede apreciar que los hechos de demoras disminuyeron de 324 a 120 casos.

Delay break down	Before improvement- Second half of 2014		After improvement- Second half of 2015	
	Delay %	# of Delay	Delay %	# of Delay
Blood test	30%	97	24%	29
Procedure rescheduled	20%	65	27%	32
Procedure cancelled	12%	39	10%	12
Porter	12%	39	13%	15
Late finish of previous procedure	10%	32	18%	21
Waiting for material	9%	29	0%	2
Nurse is late	5%	16	3%	4
Other	2%	7	4%	5
		324		120

Figura 15 Comparación de los motivos de demora antes y después de la aplicación de *Lean Manufacturing*
Fuente: (Umut & Alipour, 2016)

Como el principal motivo de las demoras de las pruebas de cateterismo eran los resultados de las pruebas de sangre (para detallar las cifras de tiempo, una prueba de sangre tardaba aproximadamente entre 180 y 210 minutos), se analizará con detenimiento este tema para identificar los componentes que hacen que este procedimiento se tarde más de lo usual. En ese sentido, los resultados arrojaban que la principal demora era la extracción de muestra de sangre (60%), seguido por el recibimiento de la muestra (13%) y líneas más abajo estaba la duración de la prueba en sí, que representaba solamente un 11% del total del tiempo (Umut & Alipour, 2016). Luego de la aplicación de herramientas *Lean* como *Heijunka*, *One Piece Flow*, *JIT* y cambio de layout, se lograron mejoras considerables, las cuales se muestran en la figura 16.

Creatinine blood test delay break down	Before improvement- Second half of 2014		After improvement- Second half of 2015	
	Delay %	# of Delay	Delay %	# of Delay
Specimen collection	60%	124	23%	17
Specimen receiving	13%	26	25%	19
Repeating test	12%	24	28%	21
During test	11%	23	12%	9
Other	4%	8	12%	9
	205		75	

Figura 16 Motivos de demora de las pruebas de sangre y sus mejoras
Fuente: (Umut & Alipour, 2016)

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se pueden mencionar respecto a este caso de aplicación, se encuentran aquellos laboratorios que pertenecen a clínicas y que mayormente constan de pruebas invasivas, donde se realizan extracciones de muestra, tales como sangre, orina, entre otros. Asimismo, cabe considerar que estos laboratorios deben presentar un tiempo de espera entre la extracción y la entrega de los resultados, y las pruebas como el de la sangre deben ser requisito para las pruebas principales, ya que, en este caso, el cuello de botella y motivo de estudio era la prueba de sangre.

De esta manera, la metodología y herramientas aplicadas en este caso de estudio podrían brindar resultados satisfactorios y fructíferos.

3.6 Caso de estudio N° 6

En la Tabla 7, se presenta la información del sexto caso de referencia, en donde el estudio realizado se basó en la implementación de la filosofía *Lean* en los laboratorios análisis y asesoramiento medioambiental de la empresa Investigación y Proyectos de Medio Ambiente (Iproma).

Tabla 7: Caso del laboratorio de la empresa Iproma

Título	Implantación de la filosofía <i>Lean</i> en los laboratorios de Iproma
Institución	TECNOAQUA
Presentada por	Salomé Ballester y otros (2013)
Objetivo del Estudio	
<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de un plan de acción para mejorar la eficiencia de los procesos del laboratorio - Creación de una metodología de trabajo que permita el análisis continuo de procesos para analizar e identificar acciones de mejora constantemente. 	
Metodología de Implementación	
<p>Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En primer lugar, se realizó el diagnóstico de la situación actual de los laboratorios de Iproma, identificando indicadores y actividades sin valor agregado, para que puedan ser comparadas con el estado futuro, luego de implementar las mejoras. - En segundo lugar, se diseñó el plan de mejora enfocado en la eliminación de actividades que no poseen valor añadido. - Implantación del plan y posterior comparación con la situación inicial - Análisis de resultados y conclusiones 	
Resultados	
<ul style="list-style-type: none"> - Incremento en un 15% de los parámetros analizados en el diagnóstico del laboratorio - Incremento en un 30% de la productividad general de los análisis - Reducción en un 30% de los tiempos de entrega de resultados de análisis - Reducción en un 11% de la necesidad de mano de obra 	

Fuente: (Balleste et al., 2013)

Descripción general

Este caso de estudio trata de la aplicación de la filosofía *Lean* en la empresa Investigación y Proyectos Medio Ambiente (Iproma), que es una empresa que se dedica al asesoramiento ambiental dirigido tanto a empresas públicas como privadas, donde la calidad es un factor de suma importancia para respaldar sus servicios. Entre la amplia variedad de servicios que ofrece esta empresa, resaltan los servicios de análisis de aguas y suelos contaminados. A continuación, se listan los objetivos que esta empresa se planteó al inicio de la investigación (Balleste et al., 2013):

- Búsqueda del “cero defectos”

- Minimización del despilfarro (actividades que no proporcionan valor agregado)
- Mejora continua: reducción de costos, mejora calidad, aumento de productividad

En general, el objetivo de esta aplicación fue elaborar una metodología de trabajo que permita a la organización supervisar de forma continua y analizar los procesos para ejecutar acciones de mejora en todo momento. Para conseguir estos objetivos, el equipo actor siguió una metodología ordenada, la cual se explica a continuación (en la figura 17 se muestra el cronograma de actividades):



Figura 17 Cronograma de trabajos realizados
Fuente: (Balleste et al., 2013)

En primer lugar, se realizó el diagnóstico de la situación actual del laboratorio. En ese sentido, en esta etapa se definieron los procesos e indicadores para contar con un punto de partida y poder contrastarlas contra la situación final, luego de implementarse las mejoras. Entre los principales indicadores que fueron supervisados se encuentran (Balleste et al., 2013):

- Personal dedicado
- Tiempos de espera
- Defectos
- Movimientos de materiales y personas

Luego de haber implementado las acciones de mejora, llevando un monitoreo constante de los indicadores, se identificaron los motivos de desperdicios en el laboratorio, los cuales se listan a continuación (Balleste et al., 2013):

- Mantenimiento y averías
- Eliminación y búsqueda de muestras
- Repetición de análisis
- Transcripción de datos

En ese sentido, se propusieron una serie de acciones para abordar estos motivos de desperdicios tales como la estandarización de procesos, por ejemplo, la eliminación de la transcripción de datos

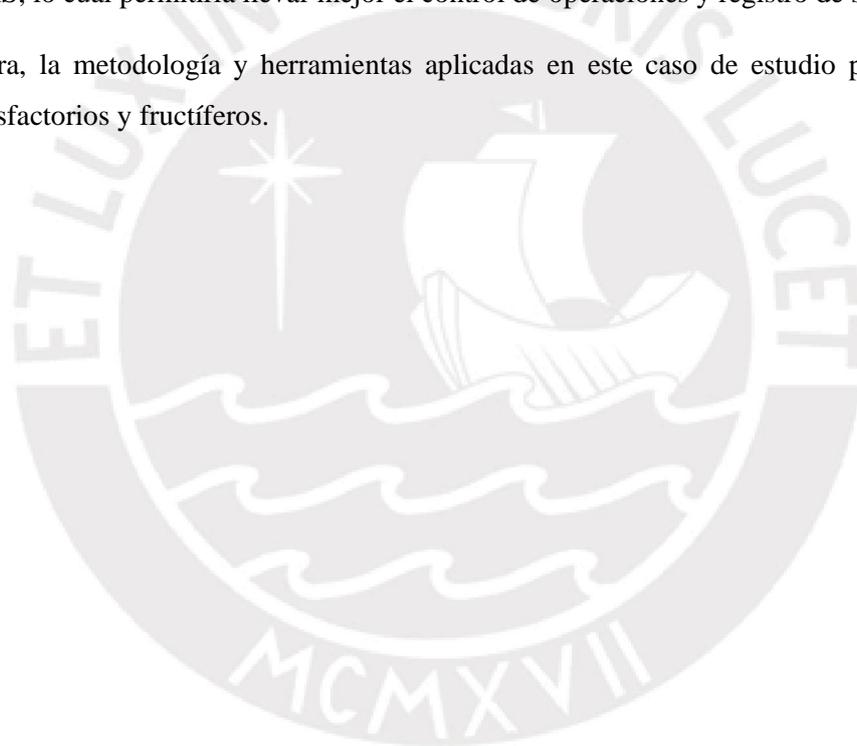
empleando libretas electrónicas y conectando los equipos a LIMS. Implementando estas mejoras, se obtuvieron los siguientes resultados (Balleste et al., 2013):

- Incremento en un 30% de la productividad
- Reducción en un 30% de los plazos de entrega
- Reducción en un 11% de la dedicación de mano de obra

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se pueden mencionar respecto a este caso de aplicación, se encuentran aquellos laboratorios que pertenecen al rubro ambiental, donde se analizan las propiedades de muestras tales como aguas, suelos, rocas, lo cual se asemeja a laboratorios geológicos, de suelos, hidrológicos, entre otros. Asimismo, las propuestas de mejoras de esta investigación también podrían aplicarse a laboratorios convencionales clínicos, refiriéndose al etiquetado de muestras por bandas y conexión de equipos a LIMS, lo cual permitiría llevar mejor el control de operaciones y registro de servicios.

De esta manera, la metodología y herramientas aplicadas en este caso de estudio podrían brindar resultados satisfactorios y fructíferos.



3.7 Caso de estudio N° 7

En la Tabla 8, se presenta la información del séptimo caso de referencia, en donde el estudio realizado se basó en la implementación de la filosofía *Lean* para la mejora de los procesos asistenciales y niveles de satisfacción en un laboratorio clínico.

Tabla 8: Caso del laboratorio de la Clínica Universitaria Colombia

Título	Impacto de la metodología <i>Lean</i> en la mejora de procesos asistenciales y niveles de satisfacción en la atención de pacientes en un laboratorio clínico
Institución	Elsevier España
Presentada por	Morón Castañeda, L.H y otros (2015)
Objetivo del Estudio	
- Optimizar el tiempo de atención de los pacientes de un laboratorio clínico implementando la metodología <i>Lean</i> , para mejorar el nivel de satisfacción de cliente y reducir el número de quejas debido a demoras en la atención.	
Metodología de Implementación	
Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los siguientes pasos:	
<ul style="list-style-type: none"> - Recopilación de información mediante instrumentos de medición, con herramientas de control visual en el área de recepción - Análisis de situación actual del laboratorio, mediante estudio de la satisfacción obtenidas en encuestas realizadas luego de la atención a clientes y cifras del sistema de control visual implantados en la fase previa. - Implementación de evento <i>Kaizen</i>: planificación, ejecución, medición de tiempos y evaluación de estrategias aplicables. - Aplicación de métodos estadísticos (gráficos X-barr y S) para controlar los tiempos de atención y su desviación estándar. 	
Resultados	
<ul style="list-style-type: none"> - Disminución del tiempo total de atención de 27.8 min a 25 min aproximadamente, lo que representa un 33%. - Reducción del número de quejas de 37 quejas (2011-2012) a 10 quejas (2012-2013), lo que representa una disminución del 27%. - Disminución de los movimientos repetitivos en la recepción, lo que genera una reducción de espera en fila de 10-12 min. - Reducción en 3 min aproximadamente en el tiempo de toma de muestras. 	

Fuente: (Morón et al., 2015)

Descripción general

Este caso de estudio trata sobre la aplicación de *Lean* para la mejora de procesos asistenciales y niveles de satisfacción de los clientes del laboratorio clínico de la Clínica Universitaria Colombia, de la ciudad

de Bogotá, la cual ofrece servicios de extracción de pruebas de sangre. La situación inicial de este laboratorio contempla las operaciones en base a 4 módulos de recepción, 6 cubículos para la extracción de muestras y 11 funcionarios (5 auxiliares que se encargan de la recepción y 6 bacteriólogos que se encargan de la extracción de muestras), los cuales atendían a los clientes que se dividían en prioritarios y ambulatorios. Debido al nivel de insatisfacción por parte de los mismos, se decidió realizar la implementación de un evento *Kaizen* (Morón et al., 2015).

En cuanto al diagnóstico, se realizó un análisis de las encuestas de satisfacción del año anterior (2010) y se concluyó que los principales motivos de insatisfacción y quejas por parte de los clientes eran el tiempo de espera para ser atendidos y la demora de atención respectivamente. En ese sentido, se plantearon los siguientes objetivos (Morón et al., 2015):

- Optimizar los tiempos de atención para llegar a los 15 min para paciente prioritarios y 25 min para los ambulatorios.
- Mantener constantemente el primer objetivo, sino mejorarlo

Una vez propuestos los objetivos del evento *Kaizen*, se utilizaron herramientas estadísticas para el control de los tiempos de atención, tales como gráficos de control de proceso (X-barr y S), los cuales presentaban 3DS (desviaciones estándar) para su estudio. Por lo tanto, aquellos puntos que se encuentren fuera de los límites, son valores inusuales y deberían ser controlados.

Finalmente, los resultados de la aplicación del evento se presentan a continuación (ver figuras 17 y 18):

- Disminución del tiempo total de servicio de 2.5-3.5 min, lo que indica que el tiempo final de atención fue aproximadamente 25 min.

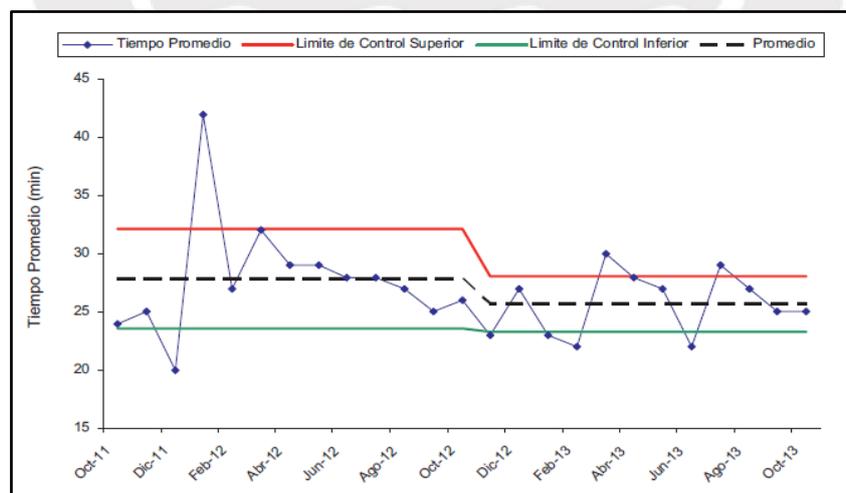


Figura 18 Gráfico X-Barr
(Morón et al., 2015)

- Las quejas hacia el laboratorio se redujeron de 37 quejas contadas en el periodo 2011-2012 a 10 quejas contadas en el periodo 2012-2013.

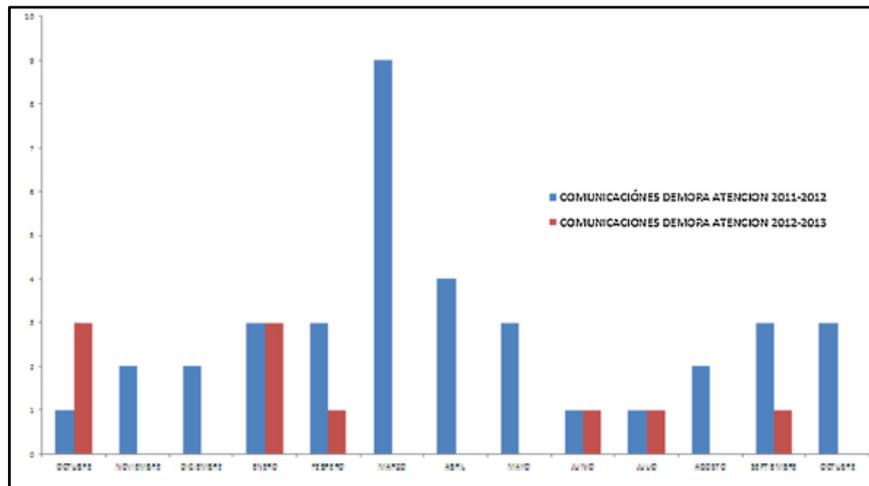


Figura 19 Número de quejas antes y después del evento Kaizen
Fuente: (Morón et al., 2015)

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se pueden mencionar respecto a este caso de aplicación, se encuentran aquellos laboratorios que mayormente constan de pruebas invasivas, donde se realizan extracciones de muestra, tales como sangre, orina, entre otros. Asimismo, cabe considerar que estos laboratorios deben presentar un tiempo de espera entre la extracción y la entrega de los resultados, y las pruebas como el de la sangre deben ser requisito para las pruebas principales.

De esta manera, la metodología y herramientas aplicadas en este caso de estudio podrían brindar resultados satisfactorios y fructíferos.

4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se realizará la comparación de resultados mediante un cuadro comparativo referente a los siete casos de estudios observados anteriormente. Asimismo, se realizarán algunas conclusiones acerca de es estos casos reales de aplicación.

4.1 Metodología

Para realizar las comparaciones de los casos de estudio observados anteriormente, se utilizará un cuadro comparativo en donde se plasman los siguientes puntos:

- Título del caso: Título del caso de estudio de aplicación real consultado
- Mejoras principales: Se listan, de manera general, las mejoras obtenidas en cada caso de estudio luego de la aplicación de *Lean Manufacturing*.
- Herramientas: En este campo, se listan las herramientas que se utilizaron en cada caso de estudio.
- Primera hipótesis: Este campo comprende una variable lógica, donde se coloca si se cumplió o no se cumplió con la primera hipótesis, que es la de reducción de tiempos y desperdicios, en los diferentes casos de estudio.
- Segunda hipótesis: Este campo también comprende una variable lógica, donde se afirma o niega la segunda hipótesis que, en este caso, se trata de la reducción de los cotos de operación luego de la aplicación de *Lean Manufacturing*

4.2 Cuadro de comparación

A continuación, se presenta el cuadro de comparación que fue descrito anteriormente:

Tabla 9: Cuadro comparativo de los casos de aplicación estudiados

Nº	Título del caso	Mejoras principales	Herramientas	Hipótesis: reducción de desperdicios y tiempo de producción	Hipótesis: reducción de costos
1	Herramientas de Manufactura Esbelta aplicadas a una propuesta de mejora en un laboratorio químico de análisis de minerales de una empresa comercializadora.	Estudio factible: VAN positivo y TIR del 70% Reducción tiempo de entrega de resultados de 16 a 4 días	VSM inicial, Manufactura Celular, 5S, <i>Kanban</i> , Control Visual, SMED, VSM futuro	✓	✓
2	Aplicación de la metodología <i>Lean Manufacturing</i> en un laboratorio de análisis clínicos	Mayor utilización de recursos (19%, 14%, 3%) Reducción de tiempos de espera (1%, 52%, 78%)	<i>Voice Of Customer</i> , detección de desperdicios, balance de producción, simulación de eventos discretos.	✓	
3	Diseño de una herramienta guía para la implementación de <i>Lean</i> en laboratorios de educación superior.	Reducción de tiempos del proceso en un 50% Reducción de tiempos de registro y préstamos en 95% y 50%	<i>Kaizen</i> (ciclo PDCA), <i>Kanban</i> , Gestión Visual, 5 S, 5 <i>whys</i> , KPI's	✓	
4	Propuesta de mejora a la productividad del área de microbiología en un laboratorio de calidad mediante herramientas de <i>Lean Manufacturing</i>	Reducción reprocesos en un 23% en general (178 a 137) Reducción de reclamos en un 47% (15 a 8)	5 S, Control Visual, Estandarización de Procesos, <i>Kanban</i> adaptado.	✓	✓
5	<i>Applying Lean tools in the clinical laboratory to reduce turnaround time for blood test results</i>	Reducción tiempos de espera de resultados en un 50% Aumento del nivel de satisfacción y eficiencia general	VSM actual, Diagrama Spaguetti, <i>Heijunka</i> , 5S, Gestión Visual, <i>Kanban</i> , <i>JIT</i> , <i>Single Piece Flow</i> , cambio de <i>layout</i>	✓	✓
6	Implantación de la filosofía <i>Lean</i> en los laboratorios de Iproma	Incremento de productividad en un 30% Reducción del tiempo de entrega de resultados en un 30%	Identificación de operaciones sin valor añadido, medición de uso de recursos, 5 S, medición de utilización de recursos humanos, seguimiento de indicadores	✓	✓
7	Impacto de la metodología <i>Lean</i> en la mejora de procesos asistenciales y niveles de satisfacción en la atención de pacientes en un laboratorio clínico	Reducción del tiempo total de atención del 33% Reducción del número de quejas en un 27%	Gestión Visual, evento <i>Kaizen</i> , herramientas estadísticas, gráficos de control X-barr y S	✓	

Elaboración propia

4.3 Análisis de resultados

Luego de haberse realizado la comparación de los casos de estudios en el cuadro que se presenta en la tabla 9, respecto a los resultados obtenidos se puede resumir lo siguiente:

- El factor común de la problemática de estos laboratorios en el 100% de los casos fue la demora de los procesos, es decir, en la demora de la obtención de los resultados para el caso de laboratorios químicos y clínicos, y demora de atención para laboratorios de educación superior. En ese sentido, las herramientas utilizadas en los casos anteriores, serán de apoyo para la reducción de tiempo de atención en un laboratorio clínico o de ensayos.
- En cuanto a las herramientas utilizadas en los casos de aplicación se identificó que aproximadamente el 72% (5 de 7) utilizaron la metodología 5S, resultando como la herramienta más implementada. Por lo tanto, se concluye que esta herramienta es altamente usada en estos tipos de aplicaciones, ya que proporciona una cultura de orden y limpieza en la cual se pueden obtener mejores resultados a partir del confort del operario y trabajadores en general.
- Otro punto importante en este cuadro comparativo es el que hace referencia a la segunda hipótesis de esta investigación, que es la reducción de los costos de producción o, en estos casos, reducción de los costos de realizar las pruebas en los laboratorios. En ese sentido, se observa que, en la mayoría de casos, se redujeron los costos en porcentajes que son considerables tomando en cuenta la fácil y rápida aplicación de las herramientas de *Lean Manufacturing*, lo que nos lleva a concluir que la relación costo beneficio de la aplicación de herramientas tales como las 5S, control visual, *pull system*, estandarización es favorable para aquellas empresas que busquen obtener resultados sin invertir demasiado.
- Otras herramientas que también son usadas con frecuencia son VSM, SMED, control visual, *Kanban*. Esto es un indicador de que estas herramientas tienen mayor compatibilidad de aplicación en una empresa del tipo laboratorios que brindan servicios de pruebas y ensayos. En ese sentido, se podría afirmar que el uso de estas herramientas junto a la metodología 5S lograrían una mejora en la reducción del tiempo de entrega de resultados, reducción de costos y mejora del proceso en general.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la primera sección de este trabajo de investigación se ha desarrollado la parte teórica de la metodología de *Lean Manufacturing*, la cual ayudó a comprender las herramientas y principios utilizados en los casos de estudio que se consultaron. De esta manera, conociendo la filosofía *Lean* y los casos de aplicación, se pudo concluir las herramientas que son ideales para la mejora de procesos y eliminación de desperdicios en un laboratorio de servicios.

Respecto a los casos de aplicación, se puede concluir que las herramientas y metodologías de *Lean Manufacturing* que han funcionado en los laboratorios, en su mayoría han representado bajos costos en su implementación y brindan mejoras que presentan mayor beneficio respecto al monto invertido.

En todos los casos de aplicación se logró un aumento en el nivel de satisfacción del cliente. Esto es resultado de la reducción de los tiempos de entrega de resultados y mayor organización por parte de los laboratorios. Esto nos lleva a concluir que aparte de la reducción de costos y desperdicios para la organización, también los clientes están beneficiados con la aplicación de la metodología *Lean Manufacturing*.

Otro de los puntos importantes a concluir respecto a la aplicación de las herramientas de *Lean Manufacturing* es en el ámbito de la productividad y eficiencia (mejor utilización de recursos) de los procesos. Pues, estos aumentaron con la aplicación de las distintas herramientas mencionadas anteriormente, cuyas aplicaciones son compatibles con laboratorios de servicios.

Respecto a la cultura organizacional, se puede afirmar que la aplicación de la metodología *Lean Manufacturing* incluye al trabajador y su éxito depende mucho del grado de compromiso de cada miembro de la organización, lo cual puede repercutir en una cultura organizacional favorable.

Finalmente, este estudio permitió contrastar las hipótesis planteadas en el primer capítulo de este trabajo de investigación. Así pues, de los casos de estudios analizados, el 100% de estos lograron reducir los desperdicios y el tiempo del proceso del estado inicial del laboratorio analizado, lo cual refleja la afirmación de la primera hipótesis. En cuanto a la segunda hipótesis, 4 de los 7 casos de estudio reflejan reducción de costos de producción y los otros tres lo mencionan implícitamente.

En general, la aplicación de *Lean Manufacturing* provee herramientas cuyas aplicaciones tienen un impacto positivo en el rendimiento de un laboratorio de análisis, tales como la reducción del tiempo de resultados de análisis, satisfacción del cliente, reducción de costos, que son los aspectos más valorados dentro de un laboratorio o un centro de transferencia tecnológico.

5.2 Recomendaciones

Con respecto a la metodología de investigación y consideraciones a tener en cuenta respecto a la recopilación de información de los casos reales de aplicación, se recomienda tomar en cuenta el tipo y tamaño de las empresas, ya que la comparación de herramientas e índices de mejoras podrían no resultar beneficiosa si se tratan de diferentes tamaños. En este caso, debido a que el objeto de estudio son laboratorios y la mayoría de estos cuentan con una estructura parecida, el tamaño de la empresa no es relevante por lo que la comparación de metodologías y resultados es válida. Sin embargo, para otro tipo de investigaciones, el tamaño podría ser relevante por lo que se recomienda tener especial cuidado con estos temas.

Para la correcta aplicación de la metodología *Lean Manufacturing*, se recomienda realizar conversaciones constantes con el personal, con la finalidad lograr conciencia y compromiso con la implantación de estos métodos. Esto también debe realizarse para mitigar el rechazo hacia lo nuevo. *Lean Manufacturing* brinda herramientas de mejora que son óptimas de acuerdo con el objetivo de la aplicación, es decir, existen herramientas adecuadas para cada fin muy aparte de que cada una de estas contribuyen a la eliminación de desperdicios y mejora de procesos. Por ejemplo, la aplicación 5 S's es aplicada con un fin de mantener la limpieza y organización del puesto de trabajo; el VSM es usado para reflejar el flujo de valor del proceso y a partir de esta se pueden identificar aquellas actividades que no generan valor al proceso, *Kanban* es aplicado para controlar el avance del trabajo, y es lo mismo con las otras herramientas. En ese sentido, se recomienda realizar, en primer lugar, el planteamiento preciso de los objetivos del estudio para luego identificar aquellas herramientas que proporcionarán mayor impacto beneficioso.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ampuero, C. (2017). *Propuesta de mejora a la productividad del área de microbiología en un laboratorio de calidad mediante herramientas de lean manufacturing*. Universidad Austral de Chile.
- Balleste, S., Rosado, A., García, R., Bausá, J., Aranda, J., Inmaculada, A., Berlanga, J., & Tormos, I. (2013). Implantación de la filosofía Lean en los laboratorios de Iroma. *Tecnoaqua*, 2, 82-84.
- Bocajá, D., Castiblanco, A., & Chacón, J. (2020). Diseño de una herramienta guía para la implementación de lean en laboratorios de educación superior. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 19(36), 143-166.
- Fernández, M., Taccone, E., & Thomson, I. (2012). *Ingeniería Industrial Autores :Aplicación De La Metodología Lean Manufacturing En Un Laboratorio De Análisis Clínicos Autores*: Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- González, & Francisco. (2007). Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Principales Herramientas. *Revista Panorama Administrativo*, 2, 85-112.
- Hernández, J. C., & Vizán, A. (2013). *Lean manugacturing Conceptos, técnicas e implantación*. <https://doi.org/10.3233/HSM-1993-12106>
- Morón, L. H., Useche, A., Morales, O. L., Mojica, I. L., Palacios, A., Ardila, C. E., Parra, M. V., Martínez, O., Sarmiento, N., Rodríguez, C. A., Alvarado, C., & Isaza, M. A. (2015). Impacto de la metodología Lean en la mejora de procesos asistenciales y niveles de satisfacción en la atención de pacientes en un laboratorio clínico. *Revista de Calidad Asistencial*, 30(6), 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.cali.2015.09.001>
- Paladugu, B. S. K., & Grau, D. (2019). Toyota Production System – Monitoring Construction Work Progress With Lean Principles. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 6. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11512-7>
- Prodintec. (2010). Introducción al lean manufacturing. *Fundación PRODINTEC*, 77.
- Rajadell, M., & Sánchez, J. (2010). *Lean Manufacturing La evidencia de una necesidad* (2.^a ed.). Ediciones Díaz de Santos.
- Rivera, L. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing. *Heurística*, 15, 91-106. <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/6139>
- Ruiz, E., & Mayorga, C. (2013). *Herramientas de manufactura esbelta aplicadas a una propuesta de mejora en un laboratorio químico de análisis de minerales de una empresa comercializadora*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.

Umut, B., & Alipour, P. (2016). APPLYING LEAN TOOLS IN THE CLINICAL LABORATORY TO REDUCE TURNAROUND TIME FOR BLOOD TEST RESULTS. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 4(1), 1-6.

Vargas, J., Muratalla, G., & Jiménez, M. (2016). Lean Manufacturing ¿una herramienta de mejora de un sistema de producción? *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 5(17), 153-174. <https://www.redalyc.org/html/2150/215049679011/>

