

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Optimización de tiempos en startup sustentable:
Minimización de desperdicios mediante la implementación
de Lean Six Sigma**

**Pablo Sebastián Morán Espinosa
Sebastián Nicolas Escobar Armas**

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Quito, 20 de diciembre de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Optimización de tiempos en startup sustentable:
Minimización de desperdicios mediante la implementación
de Lean Six Sigma**

**Pablo Sebastián Morán Espinosa
Sebastián Nicolas Escobar Armas**

Nombre del profesor, Título académico Pablo Sebastián Burneo Arteaga, MEM

Quito, 20 de Diciembre de 2021

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Pablo Sebastián Morán Espinosa

Código: 00203020

Cédula de identidad: 1720945656

Lugar y fecha: Quito, Diciembre de 2021

Nombres y apellidos: Sebastián Nicolás Escobar Armas

Código: 00200393

Cédula de identidad: 1719512475

Lugar y fecha: Quito, Diciembre de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Los plásticos en el océano se han convertido en una gran preocupación debido a su persistencia en el mar y las consecuencias adversas para la vida marina y potencialmente la salud humana. Los desechos plásticos en el medio ambiente marino están altamente estudiados, sin embargo, nadie hace nada al respecto. Ichthion es una startup que evita que la mayoría de los plásticos fluviales entren en los ecosistemas marinos. Ichthion posee un sistema autónomo y transportable que puede extraer 80 toneladas por día, sin embargo, los operadores no pueden igualar su flujo de trabajo. Por lo tanto, la implementación de Lean Sigma, que combina las herramientas y técnicas de reducción de variabilidad de Six Sigma, con las herramientas y técnicas de eliminación de residuos y actividades sin valor agregado de Lean Manufacturing, para generar ahorros en los resultados finales de la organización (Kumar, 2006). Este trabajo propone un marco Lean Sigma para reducir los defectos MUDA, consecuentemente una mayor eficiencia operativa en el proceso de extracción, clasificación y pesaje. El marco propuesto integra herramientas Lean (diagrama de espagueti, sistema 5S, poka yoke y trabajo estandarizado). La implementación del marco desarrollado ayudó a mejorar los tiempos en el proceso, organizar la estación de trabajo y un mejor uso del sistema.

Palabras clave: DMAIC, Lean Manufacturing, Poka-Yoke, 5S, Contaminación de plástico, Sustentabilidad.

ABSTRACT

Plastics in the marine environment have become a major concern because of their persistence at sea, and adverse consequences to marine life and potentially human health. Plastic debris in the marine environment is widely documented, but nobody is doing something about it. Ichthion is a startup which prevents the majority of all fluvial plastic from entering marine ecosystems. Ichthion owns a self-powered and transportable system which can extract 80 tonnes per day, nevertheless, operators can not match its workflow. Therefore, the implementation of Lean Sigma, which combines the variability reduction tools and techniques from Six Sigma with the waste and non-value added elimination tools and techniques from Lean Manufacturing, to generate savings to the bottom-line of an organisation (Kumar, 2006). This paper proposes a Lean Sigma framework to reduce MUDA defects, consequently a major operative efficiency in the process of extraction, classification, and weighing. The proposed framework integrates Lean tools (Spaghetti diagram, 5S System, poka yoke and standardized work). Deployment of the developed framework helped in improving times in the process, organizing the workstation and a better use of the system.

Key words: DMAIC, Lean Manufacturing, Poka-Yoke, 5S, Plastic pollution, sustainability

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	10
2. Revisión Literaria.....	13
3. Metodología.....	18
3.1 Definir.....	18
3.2 Medir.....	19
3.3 Analizar.....	19
3.4 Mejorar.....	20
3.5 Controlar.....	20
4. Resultados.....	22
4.1 Definir.....	22
4.2 Medir.....	24
4.3 Analizar.....	25
4.4 Mejorar.....	28
4.5 Controlar.....	33
5. Conclusiones.....	34
6. Referencias bibliográficas.....	36
7. Anexos.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Etapas Metodología DMAIC</i>	16
Tabla 2. <i>Análisis desperdicios MUDA</i>	28
Tabla 3. <i>Análisis “t pareada” Pesaje</i>	31
Tabla 4. <i>Tabla de costos de las propuestas</i>	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa de proceso: Material Orgánico</i>	22
Figura 2 <i>Mapa de Proceso de Extracción / Recolección</i>	23
Figura 3 <i>Mapa de Proceso de Pesaje</i>	23
Figura 4. <i>Cálculo de tamaño de muestra H.B. Maynard</i>	24
Figura 5. <i>Diagrama Spaghetti / Análisis de movimientos durante los procesos</i>	25
Figura 6. <i>Análisis Pareto Tipo de desperdicio</i>	27
Figura 7. <i>Diagrama Spaghetti antes y después de la metodología SLP</i>	29
Figura 8. <i>Boxplot de diferencias (Antes y despues) en Materia Orgánica y Extracción/Recolección</i>	31
Figura 9. <i>Propuesta proceso de Extracción Clasificación y Pesaje</i>	32

1. INTRODUCCIÓN

Desde que comenzó la producción en masa de plásticos en la década de 1950, la contaminación por microplásticos en el océano ha sido un problema creciente, consecuentemente, la cantidad de basura antropogénica en el medio ambiente ha aumentado dramáticamente y aproximadamente del 60% al 80% es plástico (Derraik, 2002). A este ritmo, podríamos quedarnos sin vida marina y, en consecuencia, sin recursos alimenticios viables. Ichthion es una empresa emergente cuyo objetivo es evitar que la mayoría de los plásticos fluviales entren en los ecosistemas marinos. Ahora mismo existe una estación en funcionamiento en Portoviejo – Ecuador. Esta estación redirige los plásticos flotantes a una máquina que los recoge, extrae, clasifica y gestiona adecuadamente. Dado que es la primera estación en funcionamiento, hay muchos procesos con oportunidades de mejora como es la estandarización, la reducción de desperdicios y el diseño óptimo de la distribución que optimice el flujo de material en la planta. Para ello se implementan conceptos, herramientas y metodologías de Lean manufacturing. La principal desventaja que se encontró fue la escasez de artículos e investigaciones que hayan abordado la implementación de herramientas Lean en los procesos de extracción de plástico de ríos. Por lo que este caso de estudio en la implementación de mejoras y la aplicación de herramientas Lean serán un acercamiento innovador y aporte a la comunidad científica.

La industria hoy en día se encuentra en una constante lucha con los costos crecientes, consecuentemente, buscan la manera de optimizar sus recursos e incrementar su eficiencia. Es por esto que varias empresas han optado por implementar conceptos de manufactura esbelta, el cual es un concepto que se basa en el sistema de producción de

Toyota (Bhamu, 2014). La compañía Toyota desarrolló este sistema de gestión enfocado en la reducción de desperdicios de sus operaciones, estos desperdicios contemplan: defectos, movimiento, espera, procesamiento, inventario, transporte y sobreproducción (Herron y Hicks, 2008). El núcleo de la manufactura esbelta es realizar las actividades que agreguen valor y eliminar las actividades que no agreguen valor, esto mediante herramientas enfocadas en la eliminación de desperdicios.

En este caso de estudio se utilizarán herramientas y metodologías de manufactura esbelta, las cuales minimizan los desperdicios previamente mencionados, herramientas como: Poka yoke's, andon, 5's, diagrama sapagheti e incluso un rediseño de la planta que optimice el flujo de material en la misma. De igual manera para abordar el problema de manera sistemática y organizada, el caso de estudio seguirá la estructura de la metodología de calidad DMAIC. DMAIC es una metodología de resolución de problemas organizada, la cual tiene similitud con sus predecesores como son; el método de Siete Pasos y el Planificar-Hacer-Verificar-Actuar de Juran y Gryna (Balakrishnan, 1995). En un inicio la metodología fue descrita como un método que redujera las variaciones. Sin embargo, DMAIC se aplica en la práctica como un enfoque genérico de resolución de problemas y mejora (McAdam y Lafferty, 2004). La integración de DMAIC, herramientas de manufactura esbelta y rediseño de planta es una implementación novedosa con el fin de estandarizar procesos, optimizar recursos y aumentar la eficiencia de la empresa.

Además de estandarizar los procesos, el objetivo también es generar esta filosofía de mejora continua en la empresa y no conformarse con algo que funcione, si no, con lo más óptimo. Esto ocasionará que la empresa se desempeñe de mejor manera y la visión de cuidar el planeta será compartida con la comunidad que la rodea y se seguirá expandiendo. Esto es sin duda un problema latente hoy en día, que se debe manejar ahora, de otra forma, futuras generaciones no podrán disfrutar de la naturaleza, los animales, los paisajes y

recursos naturales. Es nuestro deber actuar ahora y prevenir la destrucción de nuestro planeta tierra, no es demasiado tarde. Este caso de estudio está organizado de la siguiente manera: la sección "Revisión literaria" en la cual se revisa los trabajos relacionados sobre DMAIC, herramientas de manufactura esbelta, diseño de plantas y su integración en la planta operativa de Ichthion. La sección "Metodología" describe cada una de las fases dentro de la metodología de DMAIC y la integración de herramientas de manufactura esbelta para mejorar los procesos. La sección "Resultados" describe el estado inicial y final, compara el los tiempos de cada proceso en un inicio y los mismos después de implementar las mejoras y herramientas. Al final, la conclusión, las limitaciones y el alcance futuro concluyen este artículo.

2. REVISIÓN LITERARIA

Se especula que el plástico y los micro plásticos son uno de los principales contribuyentes de la basura terrestre que contribuye significativamente a la contaminación de los océanos; hay estimaciones de 1533 toneladas de desechos plásticos que ingresan al Mar Negro cada año desde el Danubio (Lechner, 2014). Imhof en 2013 descubrió que los invertebrados de agua dulce y los peces ingieren micro plásticos, causando impactos físicos que incluyen reacciones de estrés fisiológico e incluso evidencia de crecimiento tumoral. Si bien no hay estudios que respalden el impacto que generan los micro plásticos de los alimentos marinos en los seres humanos (Eerkes, 2016), hay estudios que avalan la presencia de microplásticos en los tejidos de los pescados comerciales. Van Cauwenberghe (2014) realizó un estudio donde evidenció la diferencia significativa de presencia de microplásticos en los tejidos de ostras frescas, con unas ostras adquiridas en supermercado.

El reciclaje es una de las acciones más importantes disponibles actualmente para reducir estos impactos y representa una de las áreas más dinámicas de la industria del plástico en la actualidad. El reciclaje brinda oportunidades para reducir el uso de aceite, las emisiones de dióxido de carbono y las cantidades de desechos que requieren eliminación (Thompson, 2009).

En cuanto a la clasificación de residuos la información disponible es escasa, sin embargo, los plásticos son de fácil diferenciación, por ejemplo, incluyen polietileno (PE), poliestireno (PS) y cloruro de polivinilo (PVC), cuyas características son completamente diferentes (Zhou, 2014). La buena gestión de estos podría abrir nuevas oportunidades de negocio a la empresa, ya que, los plásticos son materiales económicos, livianos y duraderos, que se pueden moldear fácilmente en una variedad de productos que encuentran uso en una amplia gama de aplicaciones (Hopewell, 2009).

Systematic layout planning (SLP) es una metodología que fue desarrollada en 1973 por Richard Muther, es uno de los métodos más utilizados en el diseño o rediseño de una distribución de instalaciones (De Carlo, 2013). Su importancia radica en que el flujo y manipulación de material en una planta es crítico. Francis en 1974 destacó que del 20% al 50% de los costos operativos totales de fabricación están relacionados con las actividades de manipulación de materiales y que estos costos podrían reducirse entre un 10% y un 30% anual con eficiente planificación de instalaciones. Además del objetivo directo de minimizar los costos de manejo de material, también genera ventajas indirectas como; minimizar el trabajo en proceso (WIP) y los tiempos de producción (TT) (Francis, 1974). Se espera que la aplicación produzca el flujo de material más rápido con el menor costo y la menor cantidad de manipulación de material (Fu, M.C. & Kaku, 1997).

La seguridad ocupacional dentro de la planta es muy importante, ya que, se debe minimizar el riesgo de accidentes dentro de la misma. La identificación de peligros en la industria con maquinaria está sujeta a un mayor número de variables e incógnitas que en otras industrias, lo que dificulta el proceso de identificación de peligros y provoca muchas lesiones e incluso muertes (Mihic, 2020). Se considera que un sistema humano-máquina complejo está compuesto por humanos, por máquinas y por la interacción entre ellos, lo que podría describirse correctamente mediante un modelo de sistema. El papel de un modelo de sistema es esencial para pensar en cómo los sistemas pueden funcionar mal, o en otras palabras, para pensar en accidentes (Marhavić, 2011). Además, la evaluación de riesgos es un elemento esencial y sistemático proceso para evaluar el impacto, la ocurrencia y las consecuencias de las actividades humanas en sistemas con características peligrosas (vanDuijne, Aken y Schouten, 2008) y constituye una herramienta necesaria para la política de seguridad de una empresa.

La base de la manufactura esbelta es realzar las actividades que agregan valor al

proceso y eliminar las que no, consecuentemente obtener aproximadamente cero desperdicio en los procesos. Zhou, en el 2016 hizo un estudio en el que analizó a más de 200 pequeñas y medianas empresas (Pymes) en Estados Unidos sobre la implementación de la manufactura esbelta. Los resultados sugieren que la mayoría de las pymes tienen una comprensión relativamente precisa del pensamiento lean y que las herramientas lean causaron un gran impacto en su eficiencia. En 2014, Chiarini estudió cinco empresas europeas que fabrican componentes para motocicletas y que han implementado herramientas lean. Chiarini descubrió que la puesta en práctica de los principios y herramientas de manufactura esbelta no solo reduce el desperdicio durante la producción, sino que también minimiza los impactos ambientales, consecuentemente ahorrar en la implementación de sistemas ecológicos de fabricación.

De Mast en 2012 estudió la metodología DMAIC y sus capacidades de resolución de problemas. Descubrió que DMAIC “es aplicable a problemas empíricos que van desde los bien estructurados a los semiestructurados, pero no a problemas mal estructurados o líos pluralistas de problemas subjetivos”.

La metodología DMAIC sigue varios modelos de resolución de problemas, por ejemplo, el modelo de Osborn-Parnes: (Evans, 1997)

1. Encontrar lío
2. Investigación de los hechos
3. Búsqueda de problemas
4. Búsqueda de ideas
5. Búsqueda de soluciones
6. Hallazgo de aceptación

Y el modelo de March y Simon: (MacDuffle, 1997)

1. Problema de identificación
2. Diagnóstico
3. Generación de soluciones
4. Implementación

Hay 11 tipos de problemas, desde acertijos lógicos hasta dilemas sociales y la mayoría de sus soluciones provienen de estos modelos de resolución de problemas (Jonassen, 2000).

La metodología DMAIC llamado así por las siglas de sus cinco etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, son cada una de las fases que componen la metodología de gestión de proyectos Six Sigma (De mast, 2012).

La metodología DMAIC utiliza diferentes herramientas Six Sigma y Lean que contribuyen a la implementación de cada fase

Tabla 1 *Etapas Metodología DMAIC*

Phase	Description
Define	Definición del problema y documentación del proyecto
Measure	Recolección de datos
Analyze	Selección de variable y análisis de datos
Improve	Implementación de Herramientas y evidencia de mejora
Control	Mejoramiento continuo

(Socconini, 2021)

Para lograr los objetivos, se debe implementar DMAIC junto con Lean Thinking, para optimizar procesos, reducir desperdicios y crear valor (Ferreira 2019). Siguiendo el Sistema de Producción Toyota, primera implementación del Lean Thinking, la forma de lograr estos objetivos es seguir los siguientes conceptos: Trabajo Estándar, Kaizen,

Heijunka, JIT, Jidoka, entre otros conceptos y filosofías que contribuirán al correcto desarrollo de un sistema, empresa o proceso (Womack, 1997).

Las principales herramientas Lean para lograr un espacio de trabajo organizado, limpio y seguro son Visual Management, Poka Yokes, Kanban y 5's. El diseño de la gestión visual o las fábricas visuales aumentará la eficiencia y mejorará los flujos de información y materiales dentro de una organización (Jeffrey, 2008). Un sistema Kanban ayudará a los trabajadores a organizar su trabajo y eliminará los cuellos de botella en las etapas iniciales del proceso. (Nandakumar, 2018) Los 5 ayudarán a mantener un espacio de trabajo limpio y organizado al enfocarse en controlar y reducir los 8 desperdicios en el sistema lean. (Nandakumar, 2018). De acuerdo con la información discutida anteriormente, la manufactura esbelta trae muchos logros en las empresas que se han aplicado. Se seleccionó la primera implementación lean en una startup de limpieza de ríos y se desarrolló, por lo tanto, una estación operativa sustentable, eficiente y esbelta.

3. METODOLOGÍA

Después de realizar la investigación literaria correspondiente, se llegó a la conclusión que no existen estudios similares de la aplicación de la metodología DMAIC en procesos de limpieza de ríos, su clasificación y reciclaje. De todas formas, se decidió aplicar esta metodología por la similitud que tiene con los modelos de resolución de problemas de Osborn-Parnes (Evans, 19997) y March – Simon (MacDuffle, 1997). Con DMAIC se facilita la implementación de diversas herramientas de Lean manufacturing y Six sigma que permiten eliminar los desperdicios y variabilidad de los procesos. En este estudio se presentó un enfoque en la reducción de desperdicios, por lo que se enfatiza la aplicación de herramientas esbeltas en conjunto de otras herramientas de distintas ramas de la ingeniería industrial para mejorar el impacto de la aplicación de la metodología DMAIC. La integración de estas herramientas de distintas áreas de ingeniería industrial contribuye a la identificación del problema, toma y análisis de los datos, solución y mejora del problema y el control de las implementaciones. El seguir las fases de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar ayuda a mejorar la productividad del sistema identificando oportunidades de mejora en los procesos (Nadakumar, 2018).

3.1 Definir

Se establece el acuerdo del proyecto con la empresa. En esta fase se definen las responsabilidades de los participantes del proyecto, se entiende el estado actual de los procesos e información y se confirma el apoyo de la gerencia, o empresa en general, al proyecto (Smetkowska, 2017). Se utilizan herramientas como el mapeo de procesos, gamba walk, project charter, entre otras para poder alcanzar los objetivos de esta fase (Socconini, 2021). Estas herramientas facilitan la identificación de oportunidades de mejora, falencias en el

proceso y un profundo entendimiento de los procesos.

Es importante definir métricas que reflejen el estado actual de la empresa, sus procesos y el funcionamiento en general. Esto para tener claro la línea base en cuanto al funcionamiento de la empresa, tomar datos actuales (fase de medir) y poder compararlos estadísticamente al concluir el caso de estudio. Corroborar si existe un impacto en la capacidad operativa de la empresa o no.

3.2 Medir

La fase de medir pretende cuantificar los detalles del proceso, es decir métricas que servirán de referencia entre el estado inicial como el final. Para ellos existen varias herramientas, sin embargo, al definir nuestra métrica “El tiempo”, se utilizó flujogramas y se realizó un mapeo de cada proceso. De esta forma los operarios serán más constantes en cuanto la elaboración del proceso, consecuentemente, obtener tiempos más estables y así obtener un análisis más robusto. De igual manera se analizaron los movimientos dentro de cada proceso con la herramienta diagrama spaghetti, la cual permite visualizar la secuencia de movimientos en los procesos (Senderská, 2017).

3.3 Analizar

Al analizar los datos previamente recolectados se pueden definir los factores o variables que tienen mayor influencia en la variable de respuesta, es decir el tiempo de cada proceso (de Mast, 2011). Se tiene como objetivo el poder identificar la razón de los problemas existentes en el sistema, estimar los recursos que se van a utilizar y las mejoras que se van a implementar,

y los posibles obstáculos de la implementación (Smetkowska, 2017). Se puede reconocer a esta fase como la justificación de las mejoras a implementar en la siguiente etapa de la metodología DMAIC. Es común utilizar las herramientas de la calidad y otros tipos de análisis pertinentes para poder entender el comportamiento de los datos y definir lo que se puede cambiar.

3.4 Mejorar

En la fase de mejora se plantean soluciones a las problemáticas encontradas previamente, estas deben ser creativas, económicas y rápidas (Pydek,2001). Las herramientas de manufactura esbelta como son: poka yoke's, 5s, andon aportan a la filosofía de mejora continua y principios de manufactura esbelta (Tajeda, 2011). En esta etapa se implementa el resultado óptimo de la metodología SLP, misma que optimiza el flujo y manipulación de material dentro de la planta (Fu, M.C. & Kaku, 1997).

Se implementa Fábrica Visual, el cual es un concepto de manufactura esbelta que hace énfasis en la necesidad de colocar información crítica justo donde se necesita (Bilalis, 2002). Se implementan señaléticas, limitaciones, advertencias e información gráfica de fácil comprensión, esto con el fin de tener instrucciones claras y simplificadas en entornos complejos, consecuentemente, menos errores en la planta (Greif, 2017).

3.5 Controlar

En la fase de control, lo que se busca es mantener el proceso estable, es decir que, perdure en el tiempo y no se vuelva a lo que los operarios están acostumbrados. Las

herramientas en esta etapa usualmente son gráficas de control, las cuales permiten observar si las características de un producto no se encuentran dentro de los parámetros establecidos. Lastimosamente este al ser un proceso de extracción, y al no generar un producto, se lo considera como un servicio. Para ello se implementó un plan de control, el cual establece parámetros que aseguran el buen cumplimiento del proceso y acciones a realizar dado el caso que se presente alguna adversidad.

4. RESULTADOS

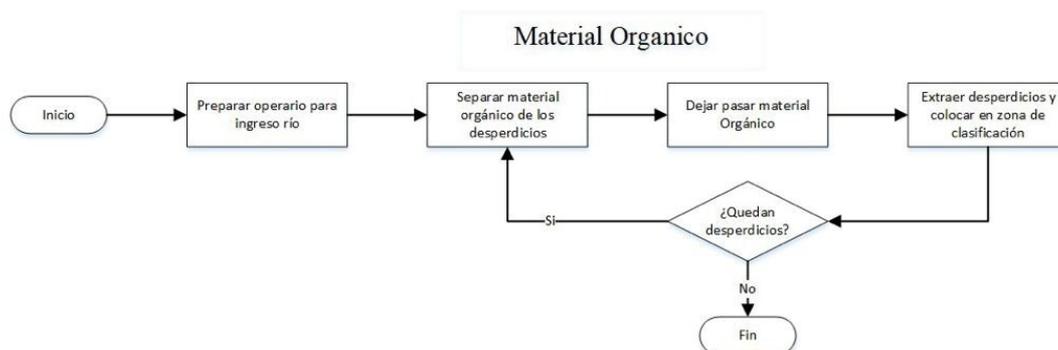
4.1 Definir

Definimos el alcance y objetivos del proyecto mediante una reunión con el ingeniero líder de la empresa, donde se establecieron los requerimientos por parte de la empresa, las posibles herramientas y mejoras, cuya aplicación en planta mejorará la eficiencia. Para poder entender el estado actual del sistema operativo, se implementó la herramienta Gemba Walk. Consiste en realizar una caminata por las instalaciones de la empresa, observando los procesos y el trabajo de los operadores. De esta forma se empieza a identificar las herramientas que se pueden utilizar en las fases posteriores y crear una idea de cómo abordar los problemas. Esta herramienta permite construir relaciones estables con los operarios, identificar problemas y comunicar las metas y objetivos a los encargados de los procesos de la empresa (Romero, 2020).

Mediante el gemba walk se evidenciaron 3 procesos claves para la operación de la compañía, los cuales son visibles en la Figura 1,2 y 3:

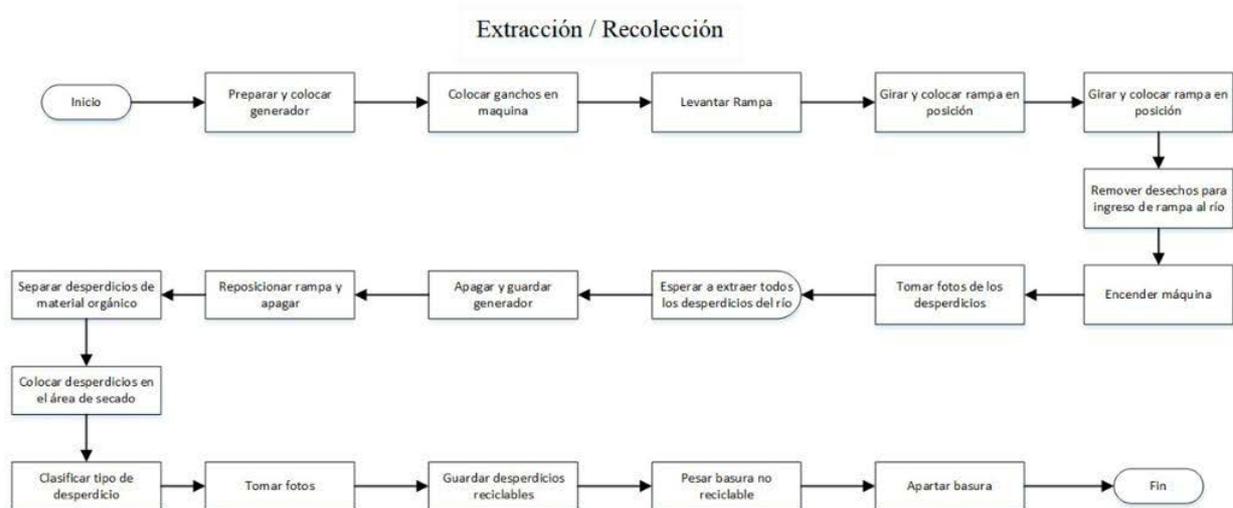
- Materia Orgánica

Figura 1 *Mapa de Proceso Material Orgánico*



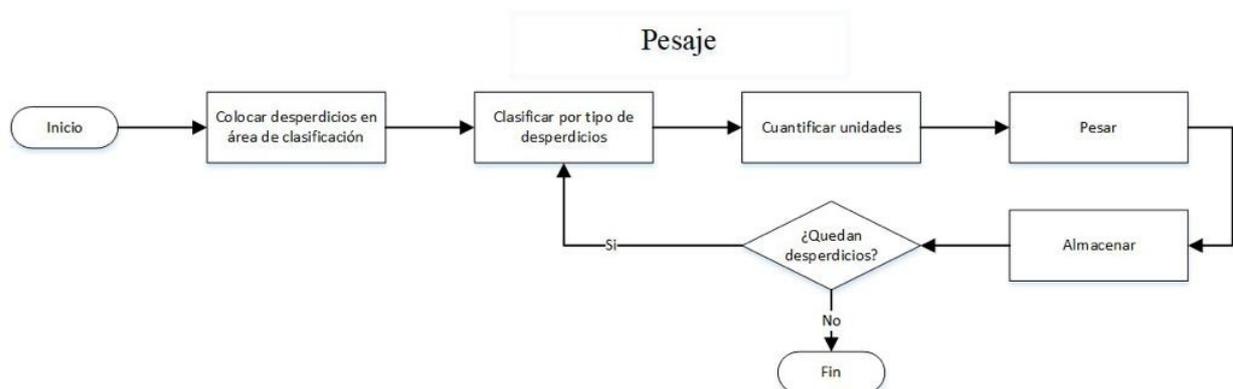
- Extracción / Recolección

Figura 2 Mapa de Proceso de Extracción / Recolección



- Pesaje

Figura 3 Mapa de Proceso de Pesaje



Los procesos fueron levantados visualizando las actividades diarias de los operadores, previamente la empresa no contaba con los procesos definidos ni documentados. El crear estos procesos permite generar una línea base para la toma de datos que se van a evaluar para evidenciar las mejoras del proceso. De igual manera, es un beneficio para que en el futuro cualquier persona interesada o nueva en el proceso tenga una guía de los pasos que se deben seguir.

4.2 Medir

En esta fase, definimos la métrica con la que trabajaremos; el tiempo que lleva cada proceso. Para ello se definió y estableció los flujogramas de cada proceso, de esta forma los operarios debían hacerlo secuencialmente y así obtuvimos tiempos más constantes. Es importante mencionar que a la hora de realizar un estudio estadístico este debe contener un tamaño de muestra lo suficientemente grande para alcanzar un nivel de confianza mayor o igual al 95%, esto otorga robustez y precisión al análisis. Es por esto que Harold Maynard desarrolló una tabla nomográfica, la cual mediante el rango y promedio de una muestra, determina el tamaño de muestra óptimo para alcanzar el nivel de confianza de 95%. Así se determinó el tamaño de muestra óptimo para cada proceso, como se observa en la Figura 4.

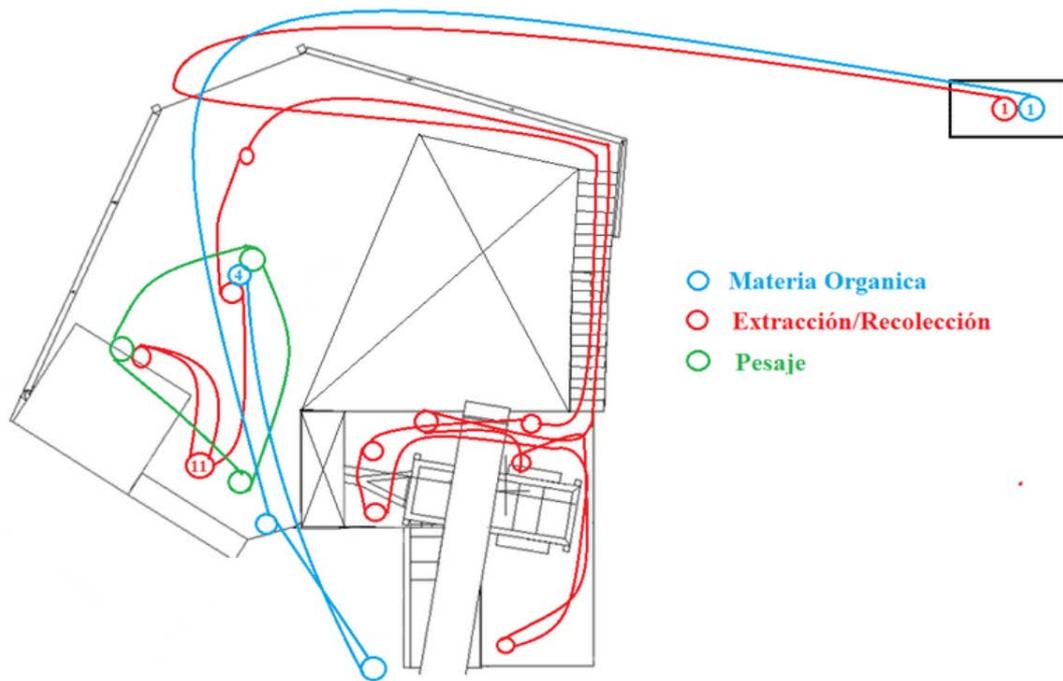
Figura 4. *Cálculo de tamaño de muestra H.B. Maynard*

Extracción / Recolección	Clasificación / Pesaje	Material Orgánico
$\frac{R}{\bar{x}} = \frac{25.3}{77.1} = 0.32$	$\frac{R}{\bar{x}} = \frac{3}{15} = 0.2$	$\frac{R}{\bar{x}} = \frac{18.2}{61.3} = 0.29$
n=30	n=12	n=23

El tamaño de muestra óptimo para extracción / recolección es de 30, clasificación / Pesaje de 12 y el proceso de material orgánico de 23 tiempos. Una vez obtenidos estos datos, la línea base del proyecto con sus respectivos datos está definida.

De igual manera en esta fase medimos los movimientos y sus tiempos de transporte que realizaban los operarios en cada proceso, para ello se realizó un diagrama spaghetti. El cual nos permitió identificar movimientos críticos, problemas de la distribución de la planta y los desperdicios generados en forma de movimientos (Senderska, et al. 2017). Este se representa a continuación en la Figura 5.

Figura 5. *Diagrama Spaghetti / Análisis de movimientos durante los procesos.*



Al momento de finalizar esta medición ya notamos oportunidades de mejora, como el mal diseño y flujo de la planta, ya que, los operarios deben regresar a la oficina para traer indumentaria necesaria y continuar con los procesos. El proceso que posee mayor desperdicio en forma de movimientos es el de extracción / recolección. Ya habiendo finalizado dos fases del DMAIC obtuvimos un direccionamiento de los problemas de la empresa, sin embargo, los debíamos analizar a profundidad para tomar la mejor decisión y que la solución sea factible.

4.3 Analizar

En esta etapa se debe analizar minuciosamente los procesos de la empresa y gracias al desarrollo de las fases previamente mencionadas, se sabe el direccionamiento a su solución. Una vez analizado los datos se identificaron todos los desperdicios MUDA reconocibles en cada proceso. Con conocimiento previo de que estos desperdicios generan que los procesos tomen más tiempo de lo óptimo, se definió que los altos tiempos de los procesos era el problema a resolver con la aplicación de las herramientas de ingeniería industrial. Una de las herramientas de calidad utilizada para empezar con el análisis fue el Diagrama de Ishikawa, el

cual permite encontrar las causas raíz de este problema (Salvador, 2004). Se logró identificar las causas raíz que provocan un mayor en los 3 procesos analizados, de esta forma se pudo resumir una lista de causas que merecen ser enfocadas para reducir los tiempos en todos los procesos.

Dentro de las causas se encontró:

- Herramientas inadecuadas
- Preparación de personal, maquinaria y herramientas
- Actividades riesgosas
- Reprocesos
- Almacenamiento incorrecto

Parte de los problemas identificados fue el manejo incorrecto de los desperdicios, al clasificarlos y almacenarlos. En cuanto a la clasificación de residuos la información disponible es demasiado general para proporcionar información más detallada, sin embargo, los plásticos son de fácil diferenciación, por ejemplo, incluyen polietileno (PE), poliestireno (PS) y cloruro de polivinilo (PVC), cuyas características son completamente diferentes (Zhou, 2014). Una vez presentes los principales tipos de plástico se decidió clasificarlos de esa manera, siguiendo sus características cuya identificación se simplificó.

Por este motivo, se realizó un análisis de la cantidad de desperdicios extraídos basado en el peso. Para conocer la cantidad de desperdicios reciclables que se manejan por semana, se realizó un diagrama de Pareto. El diagrama de Pareto analiza los datos y permite identificar el 80% de los datos de una muestra. Esta información es importante para enfocar las mejoras en este porcentaje de datos, ya que normalmente estos datos pertenecen al 20% de las categorías. En este caso, se quiso reconocer a qué tipo de desperdicio pertenece el 80% de desperdicio reciclable que llega semanalmente.

La empresa proporcionó los datos históricos de todo el 2021 con información del peso de los residuos extraídos semanalmente. Para considerar la cantidad de datos necesaria para tener una representación significativa se calculó el tamaño de muestra. Se consideró que la cantidad de basura que va a llegar por el río es infinita, por lo que para calcular el tamaño de muestra se toma en cuenta la proporción de los desperdicios reciclables en relación a los desperdicios que llegan, el nivel de confianza deseado para el cálculo y el error admitido de la información que se va a analizar (Mateu, 2003). La proporción de desperdicios reciclables es el 10% de desperdicios que se extraen, con un nivel de confianza de 95% se utiliza un valor Z de 1.96 y por la cantidad de datos con los que se trabajó, se definió un error admisible del 10%, con esta información el tamaño de muestra se calcula de la siguiente manera:

$$n = (Z^2 * p * (1 - p)) / e^2$$

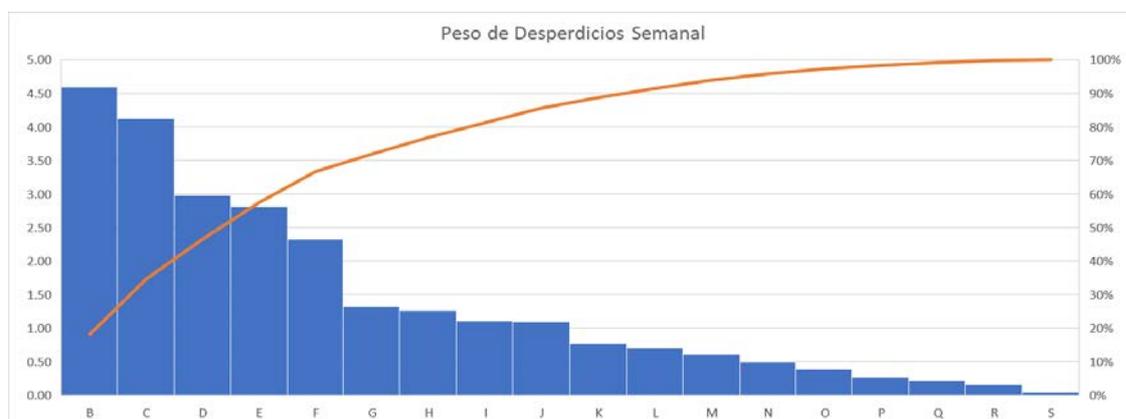
$$n = (1.96^2 * 0.1 * (0.9)) / 0.1^2$$

$$n = 35$$

Dio como resultado un tamaño de muestra de 35 datos. Como se tenía la disponibilidad de 66 datos, se decidió utilizar todos para poder disminuir el error de los cálculos.

Con los 66 datos se realizó el diagrama pareto, como se muestra en la Figura 6, y se pudieron identificar 8 tipos de desperdicios que representan el 80% de los desperdicios reciclables extraídos del río por la empresa.

Figura 6. *Análisis Pareto Tipo de desperdicio*



Para finalizar la etapa de análisis realizó una tabla de desperdicios muda. Es parte de la aplicación Lean, el enfoque en los desperdicios para optimizar los procesos de la empresa (Villalobos, 2016). Como los procesos de la empresa no son de producción, se consideró la subespecialización en lugar de la sobreproducción como desperdicio.

Tabla 2. *Análisis desperdicios MUDA*

Desperdicio	Evidenciados
Defecto	Material orgánico, categorización incorrecta
Transporte	Equipos y herramientas
Movimiento	Repeticiones de movimientos
Demora	Esperar a que los desperdicios sequen
Inventario	Almacenamiento inadecuado, inseguro, falta separación
Sobre procesamiento	Pesaje
Sub especialización	Pasantes

Se utilizó la tabla para definir las mejoras a implementar en la siguiente etapa del proyecto.

4.4 Mejorar

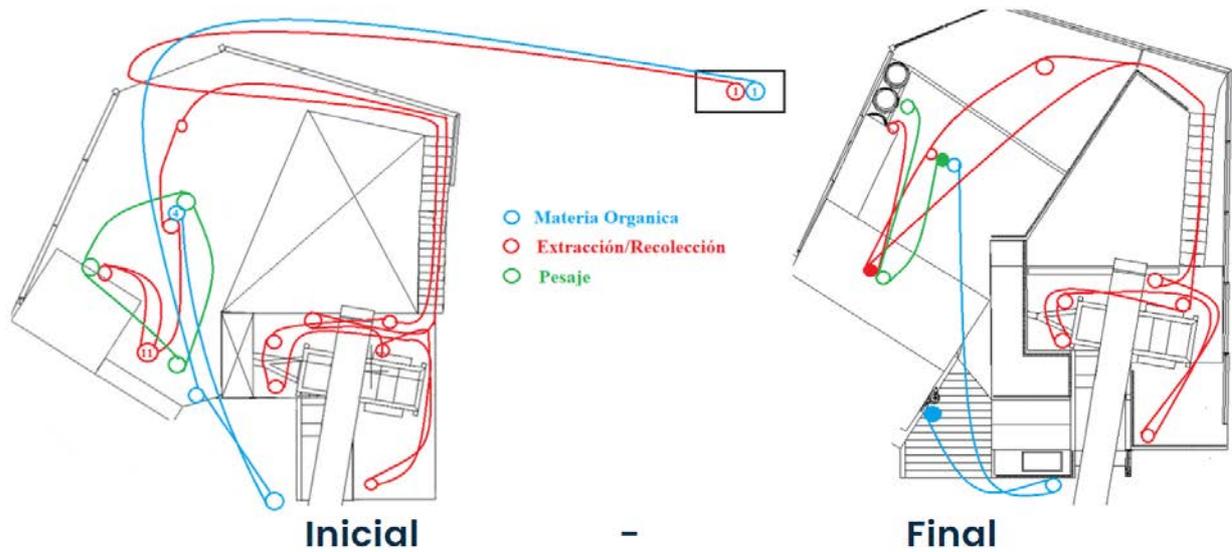
En esta etapa se implementó secuencialmente la 5S, poka yoke's, SLP, visual factory, estandarización de procesos, seguridad industrial y una simulación para implementación de mejoras más costosas y analizar su beneficios económico. El análisis de la 5S permitió identificar y clasificar todos los materiales y herramientas de la planta, para así en base a la frecuencia de su uso ubicarlos más cerca al núcleo donde ocurre el proceso e inversamente con los que poseían poca frecuencia. Esto daba apertura a un mejor flujo de trabajo y reducción de movimientos.

Se aplicaron poka yoke's cuyo objetivo es erradicar posibles errores. Esto se logró mediante recipientes de distintos colores que facilitan la clasificación y pesaje de los residuos extraídos.

La metodología SLP se desarrolló en conjunto al jefe de planta donde se

establecieron y ubicaron las distintas áreas. Mismas que optimicen el flujo de cada proceso y el manejo de material, consecuentemente reducir los tiempos de procesos y desperdicios en movimientos. En la figura 7 se observa el antes y después de los movimientos en la planta.

Figura 7. Diagrama Spaghetti antes y después de la metodología SLP



El visual factory que permite una fácil detección de los riesgos presentes en la planta, delimitaciones de áreas y equipos para mantener la organización. Señalética de equipo de protección industrial y recordatorios de filosofía Kaizen, la cual recuerda mantener cada cosa en su lugar.

Seguridad industrial, se implementó la construcción de gradas que facilite el acceso al río y sobre todo asegure la integridad del operario. Se implementó una línea de vida, la cual asegure al operario al momento de entrar al río. Se planteó de igual forma un mapa de riesgos e información industrial, en el que se detallan los riesgos latentes en planta, los extintores / bodega y sobre todo una ruta de evacuación en caso de presentarse una catástrofe.

Una vez implementadas estas mejoras se procedió a replantear los diagramas de proceso y así se mantengan las mejoras y sobre todo cualquier persona que ingrese

a la compañía pueda capacitarse sin necesidad de otro operario esté a cargo.

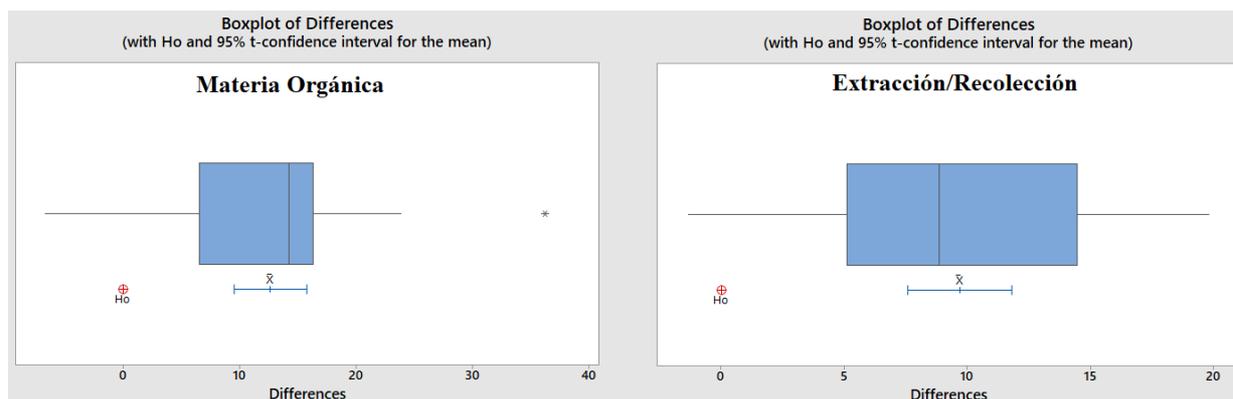
Complementariamente se realizó una simulación con el fin de analizar la factibilidad de implementar un elevador que ayude a reducir los desperdicios en movimiento. Donde se evidencia una disminución de tiempos y movimientos, además de una mejor organización de trabajo.

De igual forma para corroborar si las mejoras aplicadas generan un impacto significativo en los tiempos de cada proceso, se realizó un análisis estadístico. Se recaudaron la misma cantidad de datos que en la línea base, pero, posterior a la mejoras. Esto nos asegura obtener un nivel de confianza del 95% y que la inferencia sea robusta.

Mediante el uso del software estadístico *Minitab*, cargamos las bases de datos y realizamos pruebas de normalidad, homocedasticidad (homogeneidad de varianza) e independencia. Ya que para poder realizar un análisis estadístico se deben cumplir estos supuestos. Realizamos un análisis "t pareado", ya que, determina si la media de dos grupos dependientes es diferente. Es conocido para comparar mediciones de mismos elementos bajo distintas condiciones, que en nuestro caso son los mismos procesos pero con diferentes herramientas.

Una vez realizado el análisis "t pareado" para cada proceso y con sus respectivos tiempos del proceso anterior, con el proceso actual con las mejoras. Nos arrojó que el proceso de Materia orgánica y Extracción/Recolección son significativamente diferentes. Esto debido a que su valor p fue menor a 0.05 y se rechaza la hipótesis nula, la cual sugería que las medias de tiempo continuaban similares. Esto se puede corroborar en la figura 7, la cual grafica las diferencias de cada proceso.

Figura 8. *Boxplot de diferencias (Antes y después) en Materia Orgánica y Extracción/Recolección*



Por otro lado, el proceso de pesaje no obtuvo una diferencia estadísticamente significativa de su proceso en un inicio. Al realizar el análisis “t pareado”, nos arrojó un valor $p = 0.518$ como se observa en la tabla 3, y este al estar dentro del rango $[0.05 < \text{valor } p < 0.95]$ no se rechaza la hipótesis nula. Sin embargo, al ser el proceso con menor tiempo de proceso, no afecta al objetivo del proyecto general, su impacto no es significativo en el tiempo total.

Tabla 3. *Análisis “t pareada” Pesaje*

Paired T-Test and CI: Antes P.; Despues P.

Paired T for Antes P. - Despues P.

	N	Mean	StDev	SE Mean
Antes P.	16	14,09	4,26	1,07
Despues P.	16	12,96	3,52	0,88
Difference	16	1,13	6,85	1,71

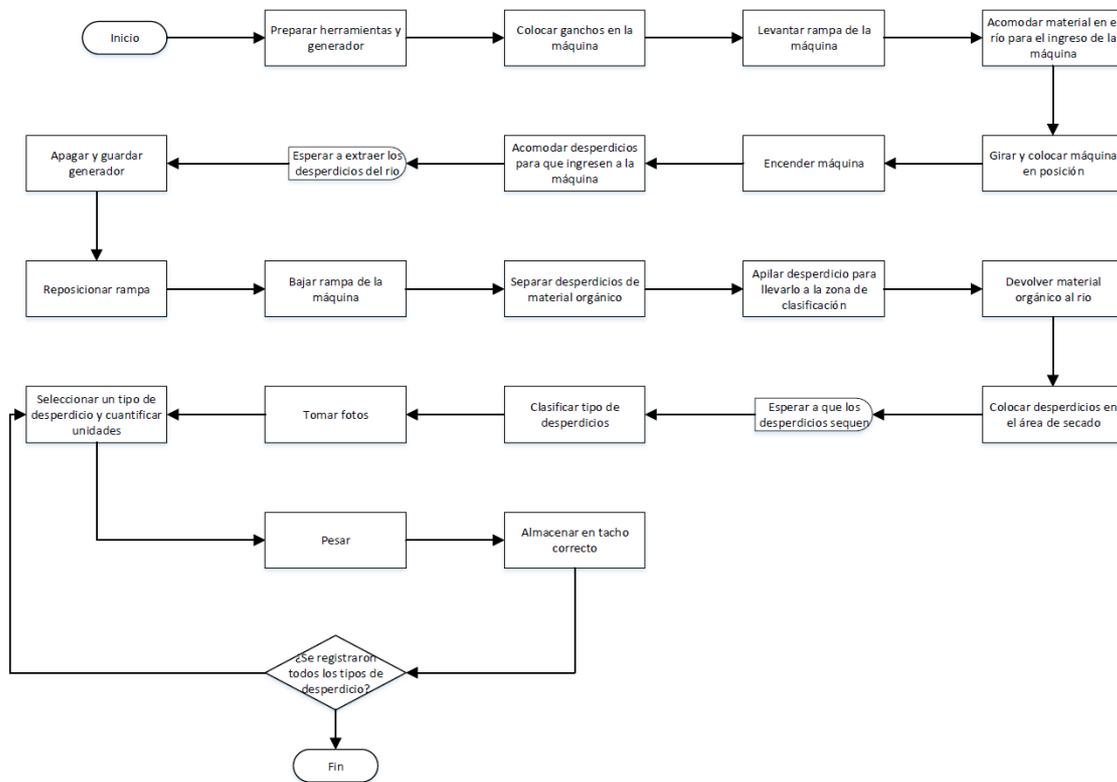
95% CI for mean difference: (-2,52; 4,79)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 0,66 P-Value = 0,518

Así como se aplicaron mejoras en, de igual manera se propusieron mejoras a la empresa para que ellos sean los encargados de aplicarlas en un futuro. Como se puede ver en la gráfica anterior, una de las oportunidades de mejora es el proceso de Pesaje. Por lo que se propuso integrar este proceso en con el proceso de Extracción/Recolección, para que esta actividad se realice diaria y se pueda ejecutar con menor cantidad de basura. Esta propuesta no solo disminuye el tiempo de las diferentes actividades dentro del proceso de Pesaje, también evita el reproceso de poner los desperdicios previamente almacenados en el suelo para poder realizar las actividades del proceso. Este cambio de procesos puede aumentar el tiempo del proceso de Extracción/Recolección, pero tiene el beneficio de eliminar un proceso repetitivo en la

empresa.

Figura 9. Propuesta proceso de Extracción Clasificación y Pesaje



A partir de las simulaciones, donde se presentó la necesidad de una obra civil para incluir gradas, mejores puestos de almacenamiento, tachos de basura adicionales a los que ya fueron implementados y la simulación que muestra la implementación de la máquina se realizó un presupuesto aproximado del costo de las propuestas.

Tabla 4. Tabla de costos de las propuestas

N.-	Descripción	Costo
1	Cotización obra civil	\$ 12,869.93
2	Tachos de basura implementados	\$ 60.00
3	Tachos de basura por implementar	\$ 360.00
4	Elevador para basura	\$ 2,500.00
	Total	\$ 15,789.93

Después de analizar los beneficios que se van a evidenciar con la implementación de las mejoras propuestas, se definió que principalmente va a ayudar en la estandarización de procesos, implementación de herramientas Lean, disminución en el esfuerzo de los

trabajadores y reducción de tiempos. En cuanto al beneficio económico, no se puede evidenciar dentro del proyecto actual. Como se mencionó previamente, este es un proyecto piloto para definir el funcionamiento óptimo de la máquina y los trabajadores, para poder vender las máquinas en Ecuador y el mundo. Por lo que implementar las mejoras para que se pueda visualizar un proceso óptimo va a contribuir en un futuro con una mayor venta de máquinas de extracción.

4.5 Controlar

En esta etapa se mide y controla las métricas establecidas en la etapa de mejora. Esta etapa tiene el objetivo de asegurar el cumplimiento de las mejoras establecidas a largo plazo. Para ello existen varias herramientas como son, gráficas de control, dashboards, etc. Sin embargo como la planta opera como un servicio, ya que, los residuos que se recauden son inciertos la única herramienta posible a implementar es un plan de control. El plan de control lo que hace es describir cada una de las actividades en el proceso y los parámetros que esta debe cumplir para que este sea considerado correcto y de igual forma plantea solución a posibles situaciones adversas que puedan afectar al proceso.

Junto al levantamiento de proceso de materia orgánica y la propuesta del nuevo proceso de Extracción, Clasificación y Pesaje, se entregaron manuales de procesos. Estos manuales sirven como guía para controlar el correcto funcionamiento de los procesos y como guía de capacitación para cualquier implicado que no tenga conocimiento de las actividades realizadas en la planta. De igual manera, estos manuales quedan como base para las mejoras de proceso, para que se pueda seguir editando y manteniendo un control de los procesos que se llevan a cabo en la parte operativa de la empresa. *Ver Anexo I.*

5. CONCLUSIONES

El estudio presenta un caso práctico, donde se puede evidenciar la aplicación del pensamiento esbelto y algunas de sus herramientas en conjunto con otras herramientas de ingeniería industrial, como la fábrica visual, diseño de plantas, simulación y seguridad industrial. Mediante estas implementaciones se alcanzó el objetivo del proyecto guiado por la metodología DMAIC. Se alcanzó una optimización en los procesos, evidenciados en la reducción de tiempos de las actividades.

La implementación de la metodología DMAIC contribuyó a la planeación de las actividades y el poder realizar una eficiente recolección y análisis de los datos necesarios. En estas etapas se pueden evidenciar otras herramientas estadísticas y de calidad que fueron parte importante del proyecto, como fueron los cálculos de tamaños de muestra, diagramas de Pareto, Espaguetti e Ishikawa. Todas estas, herramientas previas a las mejoras implementadas. Como por ejemplo las 5's y el diseño de plantas, que aparte de contribuir a la reducción de tiempos en las actividades, lograron establecer un orden y limpieza en la planta de trabajo. De igual manera, la implementación de las simulaciones fue eficiente para presentar las propuestas de mejora que debe considerar la empresa en un futuro, utilizando datos de la realidad para que se puedan representar de la mejor manera.

La implementación del estudio aportó y confirmó distintas ideas y conocimiento para futuras aplicaciones. En primer lugar, es importante que una empresa cuente con datos y procesos establecidos que se puedan utilizar como una línea base para los distintos proyectos. Esto ahorra recursos valiosos, especialmente tiempo durante la ejecución de un proyecto. Otra observación importante del estudio fue la mentalidad de los trabajadores. Su apertura a los cambios y su entendimiento de que las mejoras implementadas van a generar un beneficio para ellos y toda la empresa, fue un aporte considerable para la facilidad de ejecución e

implementación del proyecto.

Las limitaciones enfrentadas durante la ejecución del estudio fueron el tiempo, el contexto de la empresa y su ubicación. Durante el proyecto, la empresa realizó una obra civil que duró aproximadamente 90 días, en los que no se pudo avanzar con la toma de datos, ni implementación de mejoras del proyecto. Fue tiempo perdido que se tuvo que recuperar con mayor esfuerzo para sacar los resultados a tiempo. Al trabajar con una empresa emergente, las herramientas, personal, y la información, resultaron una limitación para la definición y la toma de datos necesarios. Por último, la ubicación de las instalaciones de la empresa se encuentra a 7 horas de la ciudad de Quito, por lo que la disponibilidad de visitar el lugar fue limitada. Fueron factores que cambiaron el rumbo del proyecto, sin embargo, el compromiso con el proyecto y evidenciar resultados permitió a los investigadores realizar las adecuaciones necesarias para cumplir con el estudio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balakrishnan, A., Kalakota, R., Ow, P. S., & Whinston, A. B. (1995). Document-centered information systems to support reactive problem-solving in manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 38(1), 31-58.

Bhamu, J. and Sangwan, K. (2014) Lean Manufacturing: Literature Review and Research Issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34, 876-940.
<https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>

Bilalis, N., Scroubelos, G., Antoniadis, A., Emiris, D., & Koulouriotis, D. (2002). Visual factory: basic principles and the 'zoning' approach. *International journal of production research*, 40(15), 3575-3588.

Buhl, A. (2018). Do it yourself-a lean startup toolbox for employee-driven green product innovation. *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 22(4-5), 526-544.

Chiarini, A. (2014). Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. *Journal of Cleaner Production*, 85, 226-233.

Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M. Á., Free, C. M., Froehlich, H. E., ... & Lubchenco, J. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588(7836), 95-100.

De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604-614.

Derraik, J.G.B., (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842e852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\) 00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02) 00220-5)

Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water research*, 75, 63-82.

Escaida Villalobos, I., Jara Valdés, P., & Letzkus Palavecino, M. (2016). Mejora de procesos productivos mediante lean manufacturing.

Evans, J. R. (1997). Creativity in OR/MS: The creative problem-solving process, Part 1. *Interfaces*, 27(5), 78-83.

Ferreira, C., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Lopes, M. P., Pereira, T., & Silva, F. J. G. (2019). iLeanDMAIC—A methodology for implementing the lean tools. *Procedia Manufacturing*, 41, 1095-1102.

Greif, M., & Hamilton, B. (2017). *The visual factory: building participation through shared information*. Routledge.

Guo, W., Jiang, P., Xu, L., & Peng, G. (2019). Integration of value stream mapping with DMAIC for concurrent Lean-Kaizen: A case study on an air-conditioner assembly line. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), 1687814019827115.

Herron, C. and Hicks, C. (2008) The Transfer of Selected Lean Manufacturing Techniques from Japanese Automotive Manufacturing into General Manufacturing (UK) through Change Agents. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24, 524-531.

<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.07.014>

Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.

Imhof, H. K., Ivleva, N. P., Schmid, J., Niessner, R., & Laforsch, C. (2013). Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Current biology*, 23(19), R867-R868.

- Jeffrey K.. Liker, & Michael, H. (2008). *Toyota culture: the heart and soul of the Toyota way*. Mc Graw-Hill.
- Jonassen, D.H., 2000. Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development* 48, 63–85.
- Kurdve, M., Harlin, U., Hallin, M., Söderlund, C., Berglund, M., Florin, U., & Landström, A. (2019). Designing visual management in manufacturing from a user perspective. *Procedia Cirp*, 84, 886-891.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... & Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental pollution*, 188, 177-181.
- MacDuffie, J. P. (1997). The road to “root cause”: Shop-floor problem-solving at three auto assembly plants. *Management Science*, 43(4), 479-502.
- Mateu, E., & Casal, J. (2003). Tamaño de la muestra. *Rev Epidem Med Prev*, 1(4), 8-14.
- Marhavilas, P. K., Koulouriotis, D., & Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 477-523.
- McAdam, R., & Lafferty, B. (2004). A multilevel case study critique of six sigma: statistical control or strategic change?. *International journal of operations & production management*.
- Mihić, M. (2020). Classification of construction hazards for a universal hazard identification methodology. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(2), 147-159.
- Nandakumar, N., Saleeshya, P. G., & Harikumar, P. (2020). Bottleneck identification and process improvement by lean six sigma DMAIC methodology. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1217-1224.

Pyzdek T. (2001). *The Six Sigma Handbook*. McGraw – Hill.

Romero, D., Gaiardelli, P., Wuest, T., Powell, D., & Thürer, M. (2020, August). New Forms of Gemba Walks and Their Digital Tools in the Digital Lean Manufacturing World. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 432-440). Springer, Cham.

Salvador, C. G., & Goldfarb, N. (2004). PMD4 ISHIKAWA CAUSE AND EFFECT DIAGRAMS: A USEFUL TOOL IN DESIGNING ECONOMIC ANALYSES. *Value in Health*, 3(7), 301-302.

Senderská, K., Mareš, A., & Václav, Š. (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 79(1), 139-150.

Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to improve the quality of the production process: a case study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 238, 590-596.

Socconini, L. (n.d) Lean Six Sigma Green Belt. *Lean Six Sigma Institute*.

Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental pollution*, 193, 65-70.

Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y sociedad*.

Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364(1526), 2153-2166.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148-1148.

Zhou, B. (2016). Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs). *Annals of Operations Research*, 241(1), 457-474.

Zhou, H., Meng, A., Long, Y., Li, Q., & Zhang, Y. (2014). Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(5), 597-616.

7. ANEXOS

1. Ejemplo de Manual de Procesos Implementados

Manual de proceso:

Material Orgánico (Lechuguinización)

Fecha de creación: Noviembre, 2021

Encargado	Operarios
Actividad	Preparar al operario para ingresar al río

- Equipo de protección
- Guantes
- Herramientas: Palo de separación

Encargado	Operarios
Actividad	Separar material orgánico de los desperdicios

- Recolectar los desperdicios que se encuentren escondidos dentro del material orgánico
- Colocar los desperdicios en el tacho de la orilla para moverlos al final del proceso

Encargado	Operarios
Actividad	Dejar pasar material orgánico

- Levantar la barrera
- Empujar el material orgánico con la herramienta
- Si se encuentran desperdicios en la actividad, colocarlos en el tacho de la orilla.

Encargado	Operarios
Actividad	Extraer desperdicios y colocar en zona de clasificación

- Los desperdicios encontrados, llevarlos al área de clasificación.
- Estos desperdicios esperarán en el lugar hasta tener que clasificar los desperdicios extraídos con la máquina.