

# Implementation of Integrated Autonomous Maintenance and Standard Work to improve the productivity in post-harvest production: Case study of a Peruvian coffee farm

José Bobadilla-Calderón, B.Eng., Claudia Martínez-Flores, B.Eng., Claudia León-Chavarri, M.Eng.  
Ingeniería Industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Prolongación Primavera 2390, Lima, Perú  
u20151b314@upc.edu.pe, u20141a608@upc.edu.pe, pcincleo@upc.edu.pe  
0000-0003-0208-0617, 0000-0002-5941-9629, 0000-0002-2919-83511

*Abstract— In recent years, various industrial sectors have shown continuous growth; However, in Perú, the agricultural sector has not evidenced such development because small-farm farmers have maintained with traditional systems without implementing new practices in their working method and in the maintenance of their equipment. The project's objective is to improve the productivity of the farm under study located in Pasco-Peru, since it presents a productivity level 18% below the standard, which has led them to outsource 20% of their demand, causing losses of profitability equivalent to 12.9% of its annual turnover. For this reason, a production model has been designed based on Standard Work and Autonomous Maintenance techniques under a 5S approach, which is validated using the Arena Simulation software. After the validation process, the farm under study managed to increase productivity by 17% and reduce outsourcing costs by 80%. Finally, it is expected that this model can be transferred in other small farms in the coffee sector that present similar problems.*

*Keywords— food processing industry; productivity; standard work; autonomous maintenance; 5S.*

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.732>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Implementación de Mantenimiento Autónomo Integrado y Trabajo Estándar para mejorar la productividad en la producción poscosecha: Estudio de caso de una finca cafetera peruana

José Bobadilla-Calderón, B.Eng., Claudia Martínez-Flores, B.Eng., Claudia León-Chavarri, M.Eng.  
Ingeniería Industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Prolongación Primavera 2390, Lima, Perú  
u20151b314@upc.edu.pe, u20141a608@upc.edu.pe, pcincleo@upc.edu.pe  
0000-0003-0208-0617, 0000-0002-5941-9629, 0000-0002-2919-83511

*Abstract— In recent years, various industrial sectors have shown continuous growth; However, in Perú, the agricultural sector has not evidenced such development because small-farm farmers have maintained with traditional systems without implementing new practices in their working method and in the maintenance of their equipment. The project's objective is to improve the productivity of the farm under study located in Pasco-Peru, since it presents a productivity level 18% below the standard, which has led them to outsource 20% of their demand, causing losses of profitability equivalent to 12.9% of its annual turnover. For this reason, a production model has been designed based on Standard Work and Autonomous Maintenance techniques under a 5S approach, which is validated using the Arena Simulation software. After the validation process, the farm under study managed to increase productivity by 17% and reduce outsourcing costs by 80%. Finally, it is expected that this model can be transferred in other small farms in the coffee sector that present similar problems.*

*Keywords— food processing industry; productivity; standard work; autonomous maintenance; 5S.*

## I. INTRODUCCIÓN

En el 2020 el sector cafetero a nivel de Latinoamérica ha incrementado su producción, siendo Brasil y Colombia los principales productores con 4,074,000 kg de café y 846,000 kg de café respectivamente [1]. La producción de café en el Perú en la última temporada se encuentra muy por debajo de Colombia con 267,000 kg de café; sin embargo, este grano y otros productos agrícolas producidos en el Perú representan el 5.4% del PBI nacional, generando empleo a más de 4 millones de peruanos, por lo que se considera un área de estudio importante para evaluar los problemas existentes que impactan en su desarrollo [1][2]. El sector cafetero en el Perú ha presentado un menor crecimiento en comparación con otras industrias, ya que un gran porcentaje de los productores aún no cuentan con la infraestructura y la metodología adecuada para llevar a cabo los procesos de post cosecha de manera eficiente, esto se debe a que manejan sistemas tradicionales de producción, lo que da lugar a una baja productividad y a sobrecostos en el proceso [3]. La finca objeto de estudio se dedica a la producción de café verde en Villa Rica ubicada en la región de Pasco. La empresa en el 2019 evidenció una productividad de 0.414 kg de café de grano verde/kg de cerezo cosechado, mientras que fincas del

mismo sector a nivel nacional promediaron una productividad de 0.5 kg de café de grano verde/kg de cerezo cosechado, demostrando así que la empresa en estudio se encuentra 15% por debajo del promedio en lo que respecta a productividad.

Debido a esta brecha técnica, la finca presenta dificultades en satisfacer la demanda, por lo que recurre a la tercerización de granos de café verde, generando sobrecostos equivalentes al 12.9% de la facturación anual. Las principales causas identificadas que impactan en la productividad del proceso son los parámetros no estandarizados en el método de trabajo, rotura de cuchillas en la máquina despulpadora, variabilidad de la temperatura en la máquina secadora de granos y las fuentes de contaminación en las estaciones de trabajo. Causas que, según la revisión de la literatura, pueden abordarse a través de herramientas Lean como Standard Work, 5S y Mantenimiento Autónomo. En el año 2018, la implementación de técnicas Lean como Standard Work, 5S y VSM permitió la reducción de productos defectuosos y el aumento de la productividad en una finca sueca a través de mejoras en el método de trabajo y en la organización de las herramientas necesarias para sus actividades dentro del proceso [4]. En el mismo año, se implementó la herramienta Standard Work en un taller de manufactura, el cual presentó un incremento en su producción de 6.5% luego de la estandarización de los métodos de trabajo en las máquinas que se utilizaban en el proceso [5]. Asimismo, el Mantenimiento Autónomo se aplicó en una empresa del sector automotriz para mejorar el estado de las máquinas, ya que estas fallaban y generaban paradas en la producción. Luego de la implementación, la cantidad de averías mensuales disminuyó en un 23.6% y se observó un aumento de 10% en la disponibilidad de las máquinas [6]. Esta herramienta también se aplicó en una PYME productora de ruedas dando como resultado la disminución de las piezas defectuosas en un 97% (de 230 piezas a 5 piezas) y el aumento de la productividad en un 10% (de 230 piezas/h a 255 piezas/h) [7]. En el 2017 se aplicaron las 5S en una PYME manufacturera que presentaba problemas de producción defectuosa. Luego de la implementación de esta herramienta la productividad aumentó en un 28% [8]. Las 5S junto con herramientas como el Jidoka y Kanban se implementaron en una PYME productora de bolsas de plástico ya que sus principales problemas eran la producción defectuosa y los reprocesos, los cuales representaban un 18%

y un 7% de la producción total respectivamente. Luego de la aplicación de las herramientas, se redujo la producción defectuosa a 10% y los reprocesos a 3%, se observaron también otras mejoras en el tiempo de entrega de los productos y en el stockout de los materiales [19].

La aplicación de Lean Manufacturing es cada vez más relevante y aplicable en distintos sectores productivos, obteniendo distintos resultados según la complejidad del entorno de los casos de estudio; sin embargo, existe una reducida cantidad de estudios en el sector agrícola debido a la baja disponibilidad de recursos. Por esta razón, este estudio tiene como objetivo el aprovechamiento de todos los recursos disponibles, haciendo uso de una inversión mínima a fin de que no represente un sobrecosto significativo para la finca.

La investigación presenta en primer lugar el estado de arte, donde se analizarán distintos casos de éxito de las técnicas seleccionadas para abordar la problemática en escenarios semejantes. Luego, se muestra el aporte, donde teniendo en cuenta los problemas de la empresa, presenta propone un modelo para poder solucionarlos. Finalmente, dicho modelo se valida a través del software Arena Simulation y se analizan los resultados para luego elaborar las conclusiones de la investigación.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Luego de definir el alcance del proyecto de investigación se inició con la metodología de búsqueda de artículos. Esta se realizó en bases de datos reconocidas como Scopus, Web of Science, Science Direct, entre otros. Los artículos de interés se filtraron y se clasificaron en base a los siguientes keywords: “standard work”, “TPM”, “autonomous maintenance”, “5S”, “productivity”, “agricultural sector”, “agri-food”, “food industry”, “Lean Manufacturing”, etc. Luego, los artículos escogidos se filtraron teniendo en cuenta dos factores: a qué tipo de revista indexada pertenecen con su respectivo cuartil (Q1, Q2 y Q3) y a que la antigüedad de estos papers no sea mayor a 5 años. Los artículos seleccionados se dividieron en 4 tipologías: Standard Work, Mantenimiento Autónomo aplicado en la agricultura, 5S y Lean en Agricultura. La figura 1 muestra el proceso de búsqueda de artículos científicos.

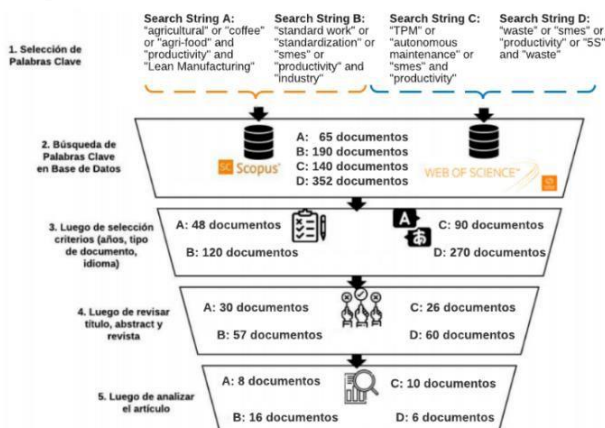


FIG. 1 PROCESO DE BÚSQUEDA DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Asimismo, en la Tabla 1, se muestran los artículos más relevantes para el proyecto de investigación.

TABLA 1 AUTORES CONSULTADOS POR TIPOLOGÍA

Tipologías	Autores
Standard Work	Nallusamy, S., & Saravanan, V. [8]; Suhardi, Sari & Laksono [9]; Punna, Gunji & Nallusamy [10]; Mor, Bhardwaj, Singh & Sachdeva [11]; Realyvásquez, Moltalvo, Blanco, Sandoval, Jiménez & García [12]
Mantenimiento Autónomo aplicado en la agricultura	Acharya, Garg, Singh & Gahlaut [13]; Morales Méndez & Rodríguez [14]; Bataineh, Al-Hawari, Alshraideh & Dalalah [15]; Gallesi, Velarde, León, Raymundo & Dominguez [16]; Narendiranath [17]
5S	Rao, Nallusamy, & Narayanan [18]; Guillén, Umasi, Quispe & Raymundo [19]; Pombal, Ferreira, Sá, Pereira, & Silva [20]; Roriz, Nunes & Sousa [21]; Valverde, De la Cruz, Cano, Alva & Raymundo [22]
Lean en agricultura	Saravanan, Nallusamy & George [23]; Wong & Sii [24]; Malek & Zaduminska [25]; Liu, Yang & Yuchen [26]; Melin and H. Barth [4]

### A. STANDARD WORK

Existen diversas herramientas Lean Manufacturing que permiten la eliminación de desperdicios y el desarrollo de un sistema de producción esbelto tales como Standard Work, 5S, Kaizen y VSM [10]. Standard Work es una herramienta que minimiza la variabilidad de los procesos que realizan los operarios y también elimina las actividades que no agregan valor al proceso [11] [12]. Sin embargo, la aplicación de esta metodología presenta deficiencias en el caso de estudio, ya que no considera el nivel de conocimientos de cada trabajador y la variabilidad de las mejores prácticas para desarrollar los procesos.

Esta técnica se aplicó, por ejemplo, en una empresa productora de núcleos y logró aumentar su productividad en un 28.8% [11]. También se implementó en una empresa productora de muebles, y luego de aplicar la herramienta, los tiempos de fabricación se redujeron y por consecuencia la empresa aumentó su productividad en un 33% [9]. Por último, en una empresa productora de cajas de cartón se adaptó esta herramienta, reduciendo los movimientos innecesarios dentro de la línea de producción y los productos defectuosos por errores de manipulación, logrando un incremento de producción del 45% y reduciendo los sobrecostos por hora hombre que se utilizaba al momento de realizar los reprocesos de los productos [12].

### B. MANTENIMIENTO AUTÓNOMO APLICADO EN LA AGRICULTURA

El Mantenimiento Autónomo tiene como objetivo principal el prevenir las averías y fallas de los equipos causados por el desgaste de componentes y fuentes de contaminación en las máquinas, esto a través de la enseñanza de principios elementales a los operarios como: controles diarios, lubricación, sustitución de piezas, reparaciones simples, entre otros. [13] Uno de los principales beneficios de aplicar esta herramienta se basa en incrementar la disponibilidad y el óptimo funcionamiento de las máquinas y/o equipos que se utilizan en la producción para así también

mejorar la calidad de los productos y a la par, incrementar la rentabilidad de la empresa. Sin embargo, este pilar del TPM no toma en consideración la experiencia de cada trabajador, los riesgos y la condición de la estación de trabajo donde está ubicada la máquina.

La herramienta del Mantenimiento Autónomo se aplicó en una empresa automotriz en las máquinas del proceso de fresado logrando una reducción del 97% de la producción defectuosa, también se logró un incremento de la productividad en un 10%. [13]. En el mismo sector, una empresa dedicada a la fabricación de ejes presentó una baja productividad debido a tiempos perdidos por mantenimientos no planificados de las máquinas. Luego de aplicar el mantenimiento autónomo se logró disminuir el tiempo medio de reparación y el tiempo medio entre fallas en un 30% y 108% respectivamente, elevando así la productividad del proceso en un 32.31% [14]. La misma herramienta se aplicó en una empresa embotelladora que presentaba producción defectuosa y paradas en la producción debido a máquinas en condiciones no adecuadas. Luego de la implementación, la eficiencia incrementó en un 23% y la productividad en un 25% [15]. Una empresa del sector agropecuario aplicó el Mantenimiento Autónomo con el fin de disminuir el costo de mantenimiento producido por las paradas en las máquinas y demora en las reparaciones. Luego de la implementación, se logró una disminución del 4% en la parada de las máquinas [16]. Por último, luego de aplicar la herramienta, una empresa de ensamblaje y soldadura de asientos para autos redujo la inactividad de sus máquinas en un 20%, lo que generó un impacto en la reducción del costo de producción, disminuyéndolo en un 22% [17].

### C. 5S

La herramienta 5S es una base fundamental para la mejora de procesos enfocado en la limpieza, eficiencia y productividad. Los principales beneficios identificados luego de su implementación son el apropiado uso del área de trabajo, la delimitación de las zonas de trabajo, las zonas de organización de herramientas, la reducción de accidentes durante el proceso de producción, una identificación más rápida y ordenada de las herramientas a utilizar en el proceso, entre otros [18].

Luego de implementar las 5S en una PYME del sector agrícola, el nivel de almacenamiento se incrementó en un 30%, los tiempos improductivos se redujeron en un 10% y la disminución de producción defectuosa disminuyó en un 22% [19]. Esta herramienta se implementó en una empresa que presentaba dificultades para el almacenamiento correcto de sus materiales, así como la falta de stock en los mismos. La dificultad de encontrar los materiales se redujo en un 70% y la cantidad de artículos que debían ser re stockeados diariamente se estimó a 71 productos [20]. Las 5S se implementaron en una empresa productora de cajas de cartón para buscar la optimización de la organización y limpieza de las estaciones de trabajo debido al reemplazo de componentes y piezas obsoletas y la reubicación de las herramientas generando así una baja disponibilidad de las maquinarias. Los tiempos de configuración de las máquinas se redujeron en un 47% y esta reducción impactó de manera positiva logrando

un aumento de los ingresos mensuales de 10,114 euros [21]. En una PYME productora de alimentos, se identificaron dos problemas principales: un bajo nivel de productividad y un incremento en los desperdicios generados. Estos problemas fueron causados en su mayoría por la falta de capacitación a los trabajadores, desorden en las estaciones de trabajo, entre otros. Para solucionar estos problemas, se aplicaron las 5S junto con las herramientas SMED y TPM reduciendo el tiempo improductivo de las máquinas en un 25%, también se logró la estandarización en la organización de las estaciones de trabajo y se proyectó una reducción de los costos de producción de 137,000 USD [22].

### D. LEAN EN AGRICULTURA

En los últimos años, diversas industrias y sectores han adoptado diversas técnicas del Lean Manufacturing para mejorar sus procesos y a la vez hacerlos más flexibles y competitivos. Sin embargo, en algunos sectores como el agrícola, no se ha aplicado ni ha sido muy examinado a profundidad. Esto ha dado lugar a que diversos investigadores vean la necesidad de adaptar los principios y herramientas de Lean Manufacturing para hacer frente a los cambios bruscos de la demanda y las brechas existentes dentro de este sector [4] [23] [24].

En un caso de estudio se analizó el incumplimiento de la demanda en una empresa procesadora de alimentos agrícolas, situación que generó sobrecostos de producción por la contratación de trabajadores temporales en los meses de mayor demanda, donde se logró reducir estos sobrecostos e incrementar la productividad en un 11% a través de la implementación de las técnicas VSM y SMED [25]. Otro caso importante en este sector presentaba un desbalance de la línea de producción debido a la existencia de actividades que no generaban valor al proceso postcosecha, lo cual se logró solucionar implementando técnicas como VSM, reduciendo el tiempo de ciclo en un 49% [26].

## III. APORTE

### A. FUNDAMENTO

Los estudios realizados en el sector agrícola aplicando las herramientas seleccionadas para el modelo son escasas. Existen investigaciones donde se han utilizado las herramientas de manera independiente o solo aplicando dos de ellas como Standard Work y 5S [4]. Por otro lado, no se logró identificar casos de estudio en este sector aplicando la herramienta de Mantenimiento Autónomo.

La metodología Standard Work se complementa a través de planes de capacitación, matrices de análisis de procesos y fichas de indicadores, de tal forma que el modelo sea adaptable para los operarios que presentan distintos niveles de formación académica.

La metodología del Mantenimiento Autónomo adaptará sus siete fases a las necesidades de una empresa y tomará como apoyo la herramienta 5S a fin de hacer utilizar adecuadamente el área de trabajo, reduciendo la posibilidad de fallas de máquinas durante el proceso y una identificación

rápida de las herramientas y componentes a utilizar durante el proceso de mantenimiento autónomo.

### B. MODELO PROPUESTO

Luego de revisar la literatura en la que se apoya esta investigación, se pudo identificar que el Mantenimiento Autónomo es una herramienta necesaria para reducir las fallas de las máquinas por desgaste de los componentes; sin embargo, se evidencia que la aplicación de esta herramienta combinada con las 5S muestra resultados más completos y sostenibles en el tiempo. Por otro lado, la herramienta Standard Work, permite la reducción de la variabilidad de los procesos eliminando las actividades que no agregan valor y estandarizando los parámetros de trabajo del proceso. Por lo tanto, estas 3 herramientas serán la base de los 2 componentes de este modelo propuesto.

### C. DETALLE DEL MODELO

Con la finalidad de organizar el proceso solución de la investigación, se han desarrollado dos componentes que tienen como objetivo solucionar los problemas principales encontrados en la finca objeto de estudio. En este modelo, como se observa en la figura 2, se muestran los componentes a trabajar junto con las herramientas Lean que se emplearán.

En la figura 3 se puede observar las 7 etapas en las que se ha dividido la implementación del Mantenimiento Autónomo teniendo en cuenta la herramienta 5S.

En primer lugar, la limpieza e inspección inicial consiste en trazar como objetivo la obtención de las condiciones básicas de la máquina despulpadora empleando herramientas como limpieza e inspección. En este primer paso se empleará un formato para llevar un registro inicial de las anomalías presentadas.

En segundo lugar, se procede con la eliminación de fuentes de contaminación para evitar la presencia de las causas profundas de la suciedad como contaminantes y zonas ocultas dentro de la despulpadora. Se identificaron las siguientes fuentes de contaminación que fueron eliminadas en su totalidad: acumulación de restos de cerezo en la despulpadora, sacos de café desordenados y materiales y equipos pequeños fuera de su lugar.

En tercer lugar, se definen estándares de limpieza y lubricación para el adecuado mantenimiento de los equipos del proceso postcosecha.



FIG. 2 MODELO PROPUESTO

### Componente 1: Organización de las estaciones y máquinas de trabajo (Mantenimiento Autónomo + 5S)

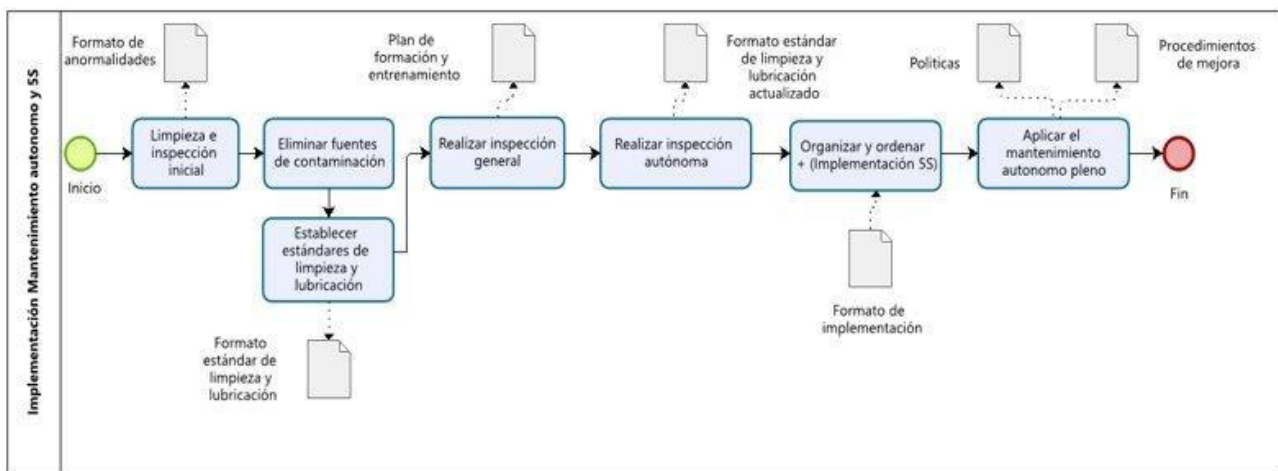


FIG. 3 COMPONENTE 1

Para llevar un registro de la limpieza y lubricación de la máquina de despulpado, se ha elaborado un formato estándar de limpieza y lubricación en el cual se indica la pieza, la acción a realizar, la frecuencia con la que se debe de realizar y el encargado del mantenimiento. La ficha tiene también una imagen de la máquina despulpadora indicando las piezas que posee para una mejor identificación de las zonas que se deben limpiar y lubricar.

En cuarto lugar, se procede con la capacitación de los operarios sobre nuevos conocimientos relacionados a la composición de los equipos y áreas de trabajo, a fin de lograr las inspecciones generales de los equipos. Para este paso se ha elaborado un plan de formación y entrenamiento a los trabajadores que contienen los siguientes temas: ensamblaje de máquina, rodamientos y engranajes, limpieza, señalización, herramientas y fricción y lubricación.

En quinto lugar, después de haber adquirido nuevos conocimientos, se complementan y mejoran los estándares de limpieza y lubricación establecidos anteriormente, de tal forma que los operarios estén preparados para realizar las inspecciones de manera autónoma. Para lo cual se ha elaborado un cuadro con las actividades a realizar para el mantenimiento de la máquina despulpadora, las herramientas que se utilizarán, el tiempo y la frecuencia con la que se deben realizar las actividades. Este cuadro se puede observar en la Figura 4.

En sexto lugar, se inicia la sistematización del mantenimiento autónomo, la cual consiste en organizar todos los elementos relacionados a la limpieza e inspección de los equipos, de tal forma que se eliminen los innecesarios y se ordenen los restantes en base al tipo y frecuencia de uso. En este paso se aplican las 5S.

Seiri: Se clasificaron las herramientas y objetos encontrados en el área de trabajo en base a su valor agregado

al proceso, este análisis se realizó en base a tres criterios de evaluación: relevancia en el proceso, periodicidad corta o mediana de uso y estado apropiado en la que se encuentra la herramienta.

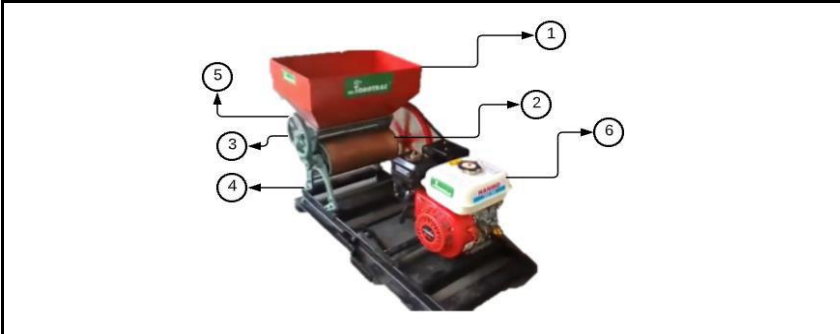
Seiton: En esta etapa se ordenaron de manera específica las herramientas que ya se definieron en la etapa anterior que agregan valor al proceso, y estas se organizan conforme a su frecuencia de uso y se localizan en los cajones del mueble diseñado. Las herramientas de uso diario se ubicaron en el cajón superior, las de uso semanal en el cajón medio superior, las de uso quincenal y mensual en el medio inferior y las herramientas de uso ocasional se ubicaron en el cajón inferior.

Seiso: Luego de clasificar las herramientas según su valor agregado, se decidió lo que se hará con las herramientas que se definieron en los pasos anteriores que no agregan valor al proceso. Las acciones que se tomaron para las herramientas que no agregan valor son el desecharlas, reciclarlas, recuperarlas y utilizarlas.

Seiketsu: En este paso se buscó determinar la posición exacta de las herramientas dentro de los cajones del mueble diseñado, para ello se emplearán colores y etiquetas que permitan una rápida identificación del lugar en donde deben guardarse y para qué actividad están destinadas a usarse.

Las herramientas se ubicaron en un mueble con cuatro cajones, a continuación, se explicará el contenido de cada cajón.

- Primer cajón: Herramientas de uso diario, se utilizará un distintivo color verde.
- Segundo cajón: Herramientas que se utilizan de manera semanal, se utilizará un distintivo de color amarillo.
- Tercer cajón: Herramientas de uso quincenal – mensual, se utilizará un distintivo color rojo.



N°	Actividad	Componente	Método	Acción correctiva	Herramienta	Especificación	Tiempo	Frecuencia
1	Limpieza de tolva	Tolva	Visual	Limpieza exterior e interior	Trapo humedo	Pasar por toda la superficie hasta obtener un color uniforme	10 min	Diario
2	Limpieza de cilindro	Cilindro	Visual	Limpieza exterior	Cepillo cilíndrico	Cepillado horizontal hasta obtener un color uniforme	10 min	Diario
2	Lubricación de cuchillas	Cuchillas	Visual	Lubricación	Aceite Wahl 1795	5 mg por cuchilla	5 min	Semanal
3	Revisión de apriete de tornillos	Tornillos	Visual	Ajuste	Alicate A3	Ajustar hasta obtener fricción con los componentes	15 min	Semanal
4	Lubricación de rodamientos	Rodamiento	Visual	Lubricación	Lubricante Molykote BG-20	1 mg por rodamiento	5 min	Semanal
5	Lubricación de engranajes	Engranaje	Visual	Lubricación	Lubricante 44 Light	3 mg por engranaje	5 min	Semanal
	Revisión de			Reportar a				Diario

FIG. 4 CUADRO DE ACTIVIDADES A REALIZAR EN EL MANTENIMIENTO

- Cuarto cajón: Herramientas de uso ocasional, se utilizará un distintivo color negro.

**Shitsuke:** Para este último paso de las 5S se elaboró un formato en base a la metodología de Lección de un Punto con el objetivo de estandarizar los procedimientos del mantenimiento. Al final de cada mantenimiento los operarios estarán encargados de dejar organizadas las herramientas 5S para así facilitar la obtención de estándares y lubricación para los futuros mantenimientos.

El último paso del Componente 1 es el lograr el Mantenimiento Autónomo Total. Para ello se requiere mejorar continuamente las actividades de mantenimiento. Se elaboró una ficha de registro en donde se puede realizar una comparación de lo que se vio en el mantenimiento anterior y lo que se observa en el siguiente mantenimiento, de esa manera se busca qué mejorar o que reforzar.

### Componente 2: Estandarización del método de trabajo (Standard Work)

Por ello, se reorganizó y simplificó la secuencia de dichos procesos mediante diagramas de flujo. Además, se optó por el diseño de hojas de trabajo estandarizado para contar con una explicación visual y mucho más sencilla de los procesos, a fin de que los operarios se adapten de manera apropiada a los nuevos procedimientos.

Hoja de trabajo estandarizado					
Proceso	Pre-secado de café	Encargado	Operario	Fecha	30/06/2021
Realizado por	José Bobadilla	Tc	540 min	Aprobado por	Finca Don Salazar
N°	Actividad				¿Cómo?
1	Apliar café en camas africanas				Apladora
2	Remover granos de café cada 3 horas				Apladora
3	Validar porcentaje de humedad del café				Medidor Ph.
4	Retirar granos de las camas africanas				Pala
Equipo de protección personal			Herramientas		
Botines	Casco	Guantes	Mandil	Medidor de Ph	Pala

FIG. 6 HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO

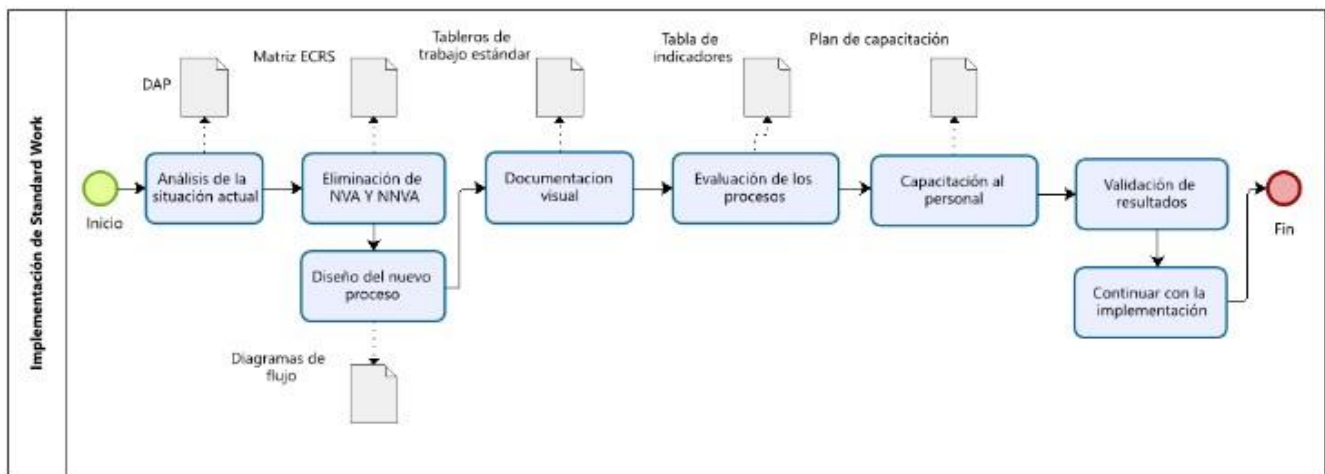


FIG. 5 COMPONENTE 2

Antes de iniciar con el flujograma establecido para el desarrollo del componente 2 se ha identificado que el método de trabajo desarrollado en la finca no cuenta con parámetros estandarizados, lo que genera que los trabajadores desarrollen las actividades de manera empírica por lo que existe variabilidad a lo largo del proceso. Por ello, de manera preliminar se elaboró un plan de formación y entrenamiento en el que se tocarán temas como las buenas prácticas para el proceso de post cosecha del café, se les explicará que es una hoja de trabajo estandarizado, la importancia de la utilización de los equipos de protección personal (EPPs), el uso correcto de las herramientas de medición y se les explicará qué es una ficha de indicador y cómo debe utilizarse.

El desarrollo de este segundo componente inicia con el análisis general del proceso postcosecha mediante un diagrama de operaciones (DAP) y se identificó la existencia de procesos con parámetros de trabajo no definidos: sedimentado y secado.

Finalmente, se evaluará que los procesos actuales se encuentren alineados al nuevo estándar establecido, por lo cual, se hará uso de tablas de indicadores para la corrección de alguna variabilidad existente en los parámetros de trabajo.

#### D. PROCESO PROPUESTO

En la figura 8, se describe el modelo propuesto a nivel de flujograma, el cual está conformado por los 2 componentes ya mencionados en el apartado anterior. Estos serán implementados de manera independiente y en simultáneo.

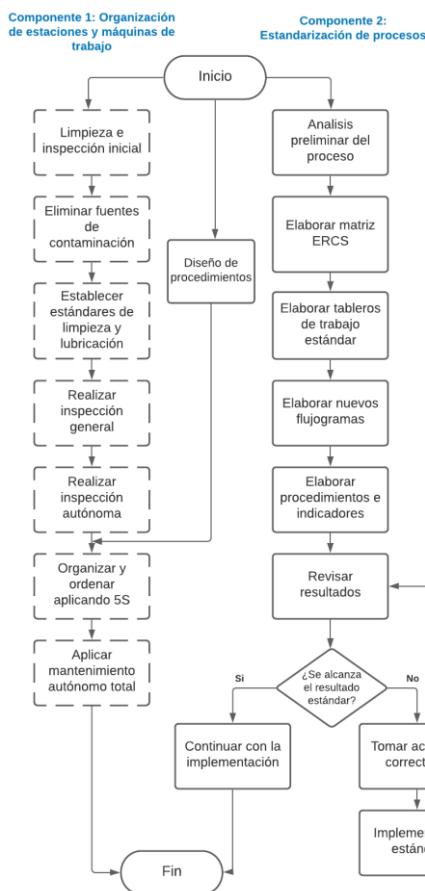


FIG 7 DESCRIPCIÓN DEL MODELO PROPUESTO

### E. INDICADORES DEL MODELO

En la tabla 2 se muestran los principales indicadores a considerar en la validación del proyecto propuesto. Asimismo, se muestran las fórmulas a emplear y los porcentajes de mejora esperados según la revisión de la literatura. La mejora esperada se estima teniendo en cuenta los diferentes casos de éxito consultados en la literatura revisada.

TABLA 2 INDICADORES EMPLEADOS

Indicador	Fórmula	Mejora esperada
Nivel de productividad	$Productividad = \frac{kg \text{ café producido}}{kg \text{ de cerezo cosechado}}$	17.43% [24]
Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$	30.50% [14]
Tiempo Medio entre Averías (MTBF)	$MTBF = \frac{\text{Tiempo disponible} - \text{tiempo de avería}}{\text{Número de fallos}}$	52% [14]
Producción defectuosa	$Prod. Defectuosa = \frac{kg \text{ café defectuoso}}{kg \text{ café producido}}$	90% [7]

## IV. VALIDACIÓN

Para validar el modelo de mejora, se realizará un diagnóstico de la situación actual de la empresa, la puesta en marcha de la solución en el caso de estudio y el análisis de resultados.

### A. DIAGNÓSTICO INICIAL

Actualmente, la finca se ve en la necesidad de tercerizar un 16.2% del total de su demanda, debido a que su nivel de productividad se encuentra un 17% por debajo del valor estándar nacional (0.5 kg café verde/kg café cerezo). Esto se debe a la presencia de producción defectuosa relacionada a fallas en la maquinaria y el uso de parámetros de trabajo no estandarizados, fallas que representan un 41.57% y 48.34% respectivamente, causas que serán abordadas mediante el modelo de solución. Además, esta baja productividad ha generado pérdidas económicas, debido al incremento de producción tercerizada, que equivale al 12.9% de las ventas en el año 2020.

### B. MODELO PROPUESTO

Aquí se detalla la puesta en marcha del modelo de mejora propuesto.

**Componente 1 (Mantenimiento autónomo + 5S):** Este componente está dirigido al proceso de despulpado, esto se realiza a través de 7 fases.

1. Limpieza e inspección inicial: Se hace un análisis de la situación actual del funcionamiento del equipo, se registran las anomalías presentes durante su funcionamiento y se plantean acciones correctivas.
2. Eliminación de fuentes de contaminación: Se procede con la eliminación de las causas raíz que dan origen a las anomalías en el funcionamiento de la máquina despulpadora (acumulación de restos de cerezo en zonas ocultas y manchas de lubricación).
3. Estándares de limpieza y lubricación: Se realiza un formato estándar de limpieza y lubricación de cada componente de la despulpadora teniendo en cuenta las buenas prácticas de procesamiento de café.
4. Inspección general: Los operarios son capacitados sobre nuevos conocimientos relacionados a la composición de la máquina y factores que intervienen en su funcionamiento.
5. Inspección Autónoma: Se complementan y mejoran los estándares de limpieza y lubricación establecidos anteriormente, a partir de los nuevos conocimientos adquiridos, de tal forma que los operarios estén preparados para realizar las inspecciones de manera autónoma.
6. Organización y ordenamiento: Este paso realiza una integración con los principios de las 5S, a fin de organizar todos los elementos relacionados a la limpieza e inspección de los equipos, eliminar los elementos innecesarios y mantener una apropiada estación de trabajo.
7. Mantenimiento Autónomo Total: Para ello se requiere mejorar continuamente las actividades de mantenimiento. Se elaboró una ficha de registro en donde se puede realizar una comparación de lo que se vio en el mantenimiento anterior y lo que se observa en el siguiente mantenimiento, de esa manera se buscan acciones que se deben mejorar o qué reforzar.



**Componente 2 (Standard Work):** Este componente está dirigido a los procesos de secado y sedimentado.

1. Análisis general del proceso: Se hace uso de un diagrama de operaciones para conocer el desarrollo de todas las actividades involucradas en el proceso, e identificar la existencia de parámetros de trabajo no estandarizados en el proceso de sedimentado y secado.
2. Rediseño de actividades: Se reorganizan y simplifican la secuencia de actividades que conforman dichos procesos mediante diagramas de flujo.
3. Estandarización de actividades: Los flujogramas son trasladados a hojas de trabajo estandarizadas, donde se podrá contar con una explicación visual y mucho más sencilla de los procesos a fin de que los operarios se adapten de manera apropiada a los nuevos procedimientos.
4. Evaluación de procesos: Se evaluará que los procesos actuales se encuentren alineados al nuevo estándar establecido, para lo cual, se hará uso de tablas de indicadores para la corrección de alguna variabilidad existente en los parámetros de trabajo.

### C. MODELO DE SIMULACIÓN

Para la validación de los resultados esperados, se realizó la simulación del modelo de producción postcosecha que actualmente se desarrolla en la finca. Como se muestra en la figura 9, los cerezos de café llegan en grupos de sacos a la finca donde son pesados para la toma de registros. Posteriormente, son llevados al tanque de sedimentado, donde se registró que 2.5% de los cerezos que salen presentan defectos debido a la existencia de parámetros de trabajo no estandarizados, siendo la causa principal de la baja productividad del proceso postcosecha. Luego, los cerezos ingresan a la máquina despulpadora, donde se observa un 6% de producción defectuosa en promedio, ocasionado por el desgaste de las cuchillas. Los cerezos restantes pasan por los procesos de fermentado, lavado, secado (de los cuales un 3.75% no cumplen con el porcentaje de humedad requerido por el uso de parámetros de trabajo no estandarizados), morteo y ensacado.

Para el modelo de simulación mejorado del proceso, se establecieron las condiciones básicas de la máquina despulpadora y se estandarizaron los parámetros de trabajo, lo cual disminuyó los desperdicios de los procesos de sedimentado, despulpado y secado en 4.5%, 6% y 3.25%

respectivamente. Por lo tanto, la aplicación de esta mejora permitirá la evaluación del nivel de productividad del proceso (kg café verde/kg cerezo), el tiempo de procesamiento (horas) y el nivel de producción defectuosa (unidades).

### D. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La aplicación del modelo logró incrementar la productividad del proceso postcosecha en un 17%, como se muestra en la tabla 3. Asimismo, el tiempo medio entre averías aumentó de 15.2 hasta 32.54 horas, y se redujo el tiempo medio para reparar de 45 a 25 minutos. Por último, el tiempo en el sistema se incrementó de 6180 a 8760 minutos.

TABLA 3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS FINALES

Indicador	Valor actual	Valor esperado	Valor Final	Variación (%)
Tiempo Medio entre Averías (MTBF)	15.2 h	40 h [14]	32.54 h	↑ 114%
Productividad Producción defectuosa	0.41	0.5 [24]	0.48	↑ 17.01%
Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	45 m	17.43% [24]	25 m	↓ 44.4%

Los resultados mostrados en la Tabla 3 muestran que el modelo diseñado ayudó al cumplimiento de los objetivos de la finca, logrando reducir la producción defectuosa en un 93.75% y la productividad en un 17%, información verificada en el análisis de datos de salida del software Arena. Finalmente, la finca producirá 2,000 kg de café verde adicionales, reduciendo la cantidad de producción tercerizada en un 80%, hecho que origina una reducción significativa de costos.

## V. DISCUSION

### A. NUEVOS ESCENARIOS VS RESULTADOS

Con el propósito de contar con una mayor precisión y fiabilidad de los resultados, se emplearon validaciones adicionales al sistema de producción actual, donde se replicará el sistema de producción mejorado. Por ello, se aplicó una segmentación a nivel de línea de producción donde se analizará una segunda línea de café verde, una línea de café pergamino y por último una línea de café instantáneo.

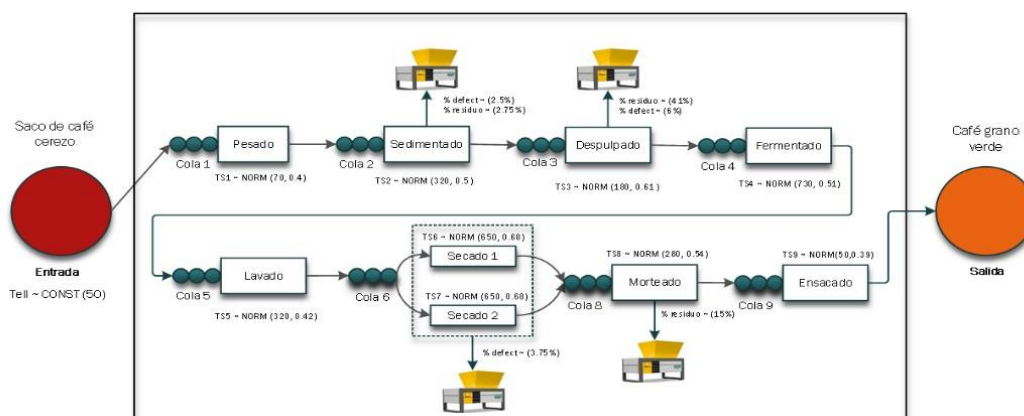


FIG 9 MODELO DE SIMULACIÓN

La línea de producción 1 también está destinada a la producción de café verde, donde también se replicó el sistema de producción mejorado en el simulador, efectuando cambios en los valores de producción defectuosa, merma y tiempos de cada proceso (Tabla 4).

TABLA 4 RESULTADOS LINEA 1

Indicador	Valor actual	Valor esperado	Valor Final	Variación (%)
Tiempo Medio entre Averías (MTBF)	12 h	40h [14]	27 h	↑ 125%
Productividad Producción defectuosa	0.42	0.5 [24]	0.49	↑ 18.1%
Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	14%	3% [7]	3%	↓ 78.6%
Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	40 m	17.4% [24]	26 m	↓ 32.5%

Asimismo, este modelo se trasladó a una segunda línea de producción, dedicada a la elaboración de café pergamino, proceso que forma parte de la producción de café verde, manteniendo un sistema tradicional de producción (Tabla 5).

TABLA 5 RESULTADOS LINEA 2

Indicador	Valor actual	Valor esperado	Valor Final	Variación (%)
Tiempo Medio entre Averías (MTBF)	10 h	40 h [14]	23 h	↑ 130%
Productividad Producción defectuosa	0.39	0.5 [24]	0.47	↑ 20.5%
Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	11%	3% [7]	3.5%	↓ 68.2%
Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	38 m	17.4% [24]	22 m	↓ 42.1%

Finalmente, el modelo también se simuló en una tercera línea de producción, la cual está enfocada en la producción de café instantáneo, en la cual los operarios hacen uso de maquinaria semiautomatizada para los procesos de despulpado y secado, lo cual genera una reducción considerable en los tiempos de producción y producción defectuosa (Tabla 6).

TABLA 6 RESULTADOS LINEA 3

Indicador	Valor actual	Valor esperado	Valor Final	Variación (%)
Tiempo Medio entre Averías (MTBF)	22 h	40 h [14]	27 h	↑ 22.7%
Productividad Producción defectuosa	0.47	0.5 [24]	0.495	↑ 4.3%
Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	6%	3% [7]	2%	↓ 66.7%
Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	20 m	17.4% [24]	14 m	↓ 30.0%

## B. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se detalla la comparación de las mejoras obtenidas en el escenario actual y los nuevos escenarios de validación después de plantear el modelo propuesto.

TABLA 7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

		Indicadores			
		Productividad	Prod. Defect	MTBF	MTTR
Escenario	0	↑ 17.01%	↓ 93.75%	↑ 114%	↓ 44.4%
	1	↑ 18.07%	↓ 78.57%	↑ 125%	↓ 32.5%
	2	↑ 20.51%	↓ 68.18%	↑ 130%	↓ 42.1%
	3	↑ 4.25%	↓ 66.67%	↑ 22.7%	↓ 30.0%
Análisis estadístico	Promedio	↑ 13.92%	↓ 77.98%	↑ 97%	↓ 29.2%
	Varianza	0.005	0.013	0.256	0.005
	Desv. Est	0.073	0.114	0.506	0.071

Como se puede apreciar en la Tabla 7, el modelo ha mostrado resultados de mejora estables en los escenarios de validación 0, 1, y 2. Sin embargo, se puede apreciar diferencias significativas en relación con la mejora de los resultados obtenidos con la línea de producción 3 (producción de café verde instantáneo), ya que este proceso presenta un mayor nivel de automatización de sus procesos.

## C. TRABAJOS FUTUROS

Es importante que en futuras investigaciones se realicen ajustes al modelo de solución para su aplicación en sistemas de producción automatizados, ya que el modelo de mejora muestra una baja efectividad a diferencia de otros escenarios que hacen uso de sistemas tradicionales de producción.

## VI. CONCLUSIONES

La aplicación del diseño permitió generar un incremento de 17.01% en el nivel de productividad en el caso de estudio desarrollado. Este incremento se debió a la producción 2,000 kg de café verde adicionales, lo cual a su vez redujo en un 80% la cantidad promedio de kilogramos de café tercerizados mensualmente (2,500 kg) y reducir los sobrecostos de tercerización significativamente. El diseño del modelo de solución determinó que la aplicación del mantenimiento autónomo bajo un enfoque 5S permite resarcir las falencias de la aplicación individual de cada herramienta y alcanzar mejores resultados. La aplicación del diseño permite la producción 2,000 kg de café verde adicionales, reduciendo en un 80% la cantidad promedio de kilogramos de café tercerizados mensualmente (2,500 kg), por lo que se reduce los sobrecostos de tercerización significativamente.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), (2020, Jun 20), "Observatorio de Commodities: Café" [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1537333/Commodityes%20Caf%C3%A9%20julio-set%202020.pdf>
- [2] Cámara de Comercio de Lima (CCL), (2019, Nov 27), "El sector agrario: importante actividad dinamizadora de la economía" [En línea]. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-sector-agrario-aporta-54-del-pbi-y-emplea-a-mas-4-millones-peruanos-776467.aspx>
- [3] Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), (2020, Dec 1), "Pasco: Síntesis de Actividad Económica Diciembre 2019" [En línea]. Disponible en: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Huancayo/2020/sintesis-pasco-12-2020.pdf>
- [4] M. Melin and H. Barth, "Lean in Swedish agriculture: strategic and operational perspectives," *Production Planning & Control*, vol. 29, no. 10, pp. 845-855, August 2018 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1479784>
- [5] R. Mor, A. Bhardwaj, S. Singh and A. Sachdeva, "Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 30, no. 6, pp. 899-919, October 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2017-0151>
- [6] P. Guariente, I. Antonioli, L. Ferreira, T. Pereira and F. Silva, "Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1128-1134, January 2017 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.174>
- [7] A. Acharya, D. Garg, N. Singh and U. Gahlaut, "Plant effectiveness improvement of overall equipment effectiveness using autonomous maintenance training: - A case study," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, Vol. 9, No. 1, pp. 103-112, January 2018 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.24247/ijmperdfcb201911>
- [8] S. Nallusamy & V. Saravanan. "Enhancement of Overall Output in a Small Scale Industry through VSM, Line Balancing and Work Standardization". *International Journal of Engineering Research in Africa*, Vol. 26, No. 1 pp. 176-183. August 2017 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.26.176>
- [9] B. Suhardi, A. Puspita and P. Laksono. "Implementation of Standardization Work to Improve Productivity in Indonesian Furniture Industry". *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11 pp. 2602-2606. October 2017 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.36478/jeasci.2016.2602.2606>
- [10] R. Punna, V. Gunji & S. Nallusamy, "Execution of Lean and ZF Production System in Manufacturing Line for Productivity Enrichment - A Case Study". *International Journal of Engineering Research in Africa*, Vol. 40, pp. 171-183. December 2018 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.40.171>
- [11] R. Mor, A. Bhardwaj, S. Singh and A. Sachdeva, "Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 30 No. 6, pp. 899-919. January 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2017-0151>
- [12] A. Realyvásquez, F. Flor, J. Blanco, J. Sandoval, E. Jiménez, & J. García, "Implementation of Production Process Standardization—A Case Study of a Publishing Company from the SMEs Sector. Processes, Vol. 7, No. 10, pp. 646. December 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.3390/pr7100646>
- [13] A. Acharya, D. Garg, N. Singh & U. Gahlaut, "Plant Effectiveness Improvement of Overall Equipment Effectiveness Using Autonomous Maintenance Training, - A Case Study". *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol. 9 no. 1, pp. 103-112. April 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.24247/ijmperdfcb201911>
- [14] J. Morales & R. Rodriguez "Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 92. No. 4, pp. 1013-1026. February 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0052-4>
- [15] O. Bataineh, T. Al-Hawari, H. Alshraideh & D. Dalalah, "A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 25, No. 1, pp. 144-161. June 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1108/jqme-07-2017-0045>
- [16] A. Galesi, A. Velarde, C. León, C. Raymundo & F. Dominguez, "Maintenance Management Model under the TPM approach to Reduce Machine Breakdowns in Peruvian Giant Squid Processing SMEs". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 1 No. 1 pp. 796, 012006. January 2020 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/796/1/012006>
- [17] T. Narendiranath "Productivity improvement on assembly line through reduction of down time using autonomous maintenance." *International Journal of Pharmacy and Technology*. October 2017 [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/306216624\\_Productivity\\_improvement\\_on\\_assembly\\_line\\_through\\_reduction\\_of\\_down\\_time\\_using\\_autonomous\\_maintenance](https://www.researchgate.net/publication/306216624_Productivity_improvement_on_assembly_line_through_reduction_of_down_time_using_autonomous_maintenance)
- [18] G. Rao, S. Nallusamy & R. Narayanan, "Augmentation of production level using different lean approaches in medium scale manufacturing industries". *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, Vol. 8, No. 12, pp. 360-372. [http://www.iaeme.com/MasterAdmin/Journal\\_uploads/IJMET/VOLU8\\_ISSUE\\_12/IJM](http://www.iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLU8_ISSUE_12/IJM)
- [19] K. Guillén, K. Umasi, G. Quispe & C. Raymundo, "Lean model for optimizing plastic bag production in small and medium sized companies in the plastics sector". *International Journal of Engineering Research and Technology*. vol. 29, no. 10, pp. 845-855. November 2018 [En línea]. doi: [http://www.irphouse.com/ijert18/ijertv11n11\\_06.pdf](http://www.irphouse.com/ijert18/ijertv11n11_06.pdf)
- [20] T. Pombal, L. Ferreira, J. Sá, M. Pereira & F. Silva. "Implementation of Lean Methodologies in the Management of Consumable Materials in the Maintenance Workshops of an Industrial Company". *Procedia Manufacturing*, Vol. 38, No. 8, pp. 975-982. January 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.181>
- [21] C. Roriz, E. Nunes & S. Sousa "Application of Lean Production Principles and Tools for Quality Improvement of Production Processes in a Carton Company". *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, pp. 1069-1076. January 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.218>
- [22] H. Valverde, A. De la Cruz, M. Cano, J. Alva & C. Raymundo, "Lean Management Model for Waste Reduction in the Production Area of A Food Processing and Preservation SME". *Proceedings of the 2019 5th International Conference on Industrial and Business Engineering*. January 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1145/3364335.3364378>
- [23] V. Saravanan, S. Nallusamy & A. George "Efficiency Enhancement in a Medium Scale Gearbox Manufacturing Company through Different Lean Tools - A Case Study". *International Journal of Engineering Research in Africa*, Vol. 34, pp. 128-138. January 2018 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.34.128>
- [24] A. Wong & H. Sii "The Implementation of Kaizen and 5S concept for Overall Improvement of an Agricultural Organisation", *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 7, pp. 23-37. February 2020 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.32628/IJSRSET196656>
- [25] M. Malek & M. Zaduminska "A case study of vsm and smed in the food processing industry", *Management and Production Engineering Review*, Vol. 2, pp. 60-68. May 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.24425/mper.2019.129569>
- [26] Q. Liu, H. Yang & Y. Xin "Applying value stream mapping in an unbalanced production line: A case study of a Chinese food processing enterprise". *Quality Engineering*, Vol. 5, No. 4, pp. 1-13. May 2019 [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1080/08982112.2019.1637526>