

Revista Científica

Ciencias y Tecnología

Campus Guairá

N° 3 - Año 2025

Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción
Campus Universitario Guairá
ISSN 3078-5308 - Villarrica, Paraguay



Revista Científica
Ciencias y Tecnología
Edición Nro. 3 - Año 2025

La revista no se hace responsable de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores o lectores que serán responsables legales de su contenido.

Queda prohibida la reproducción parcial o total sin previa autorización del coordinador de la revista.

Edición y coordinación:
Ing. Andrea Mercado, Mag.

Equipo editorial:

- IQ. Laura Vázquez
- IQ. Victoria Valdovinos
- IQ. Celia Vázquez
- Dr. César Acevedo
- Ing. Linda Riquelme
- Ing. Andrea Mercado

Comité de ética:

- Abog. Teresa Servián
- Abog. Carlos Barreto

Diseño y diagramación: Mauricio Samudio

Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción
Campus Universitario Guairá
Ruta 8 Blas Garay, Lemos
cyt.guaira@uc.edu.py
revista.cyt.guaira@uc.edu.py

Villarrica del Espíritu Santo - Paraguay

» MISIÓN

Formar ingenieros altamente calificados en las áreas de la ingeniería orientadas a su aplicación en ciencias y tecnología, utilizando técnicas y disciplinas afines a su área de conocimiento, con una sólida formación en valores cristianos, éticos y sociales con el propósito de contribuir activamente al desarrollo integral de la persona y de la sociedad paraguaya.

» VISIÓN

Constituirse en un referente académico de la formación de profesionales en ingeniería a nivel nacional y regional, caracterizados por la alta calidad científica, tecnológica y humana de sus egresados

EQUIPO CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Director General de Campus: Mag. Beatríz Bachmann

Secretario General: Abg. Osvaldo Marecos

Vicedirección Académica: Mag. Myriam González

Dirección Administrativa y Financiera: Lic. Edith Benítez

Dirección carrera Ing. Informática: Ing. Andrea Mercado Kröll, Mag.

Dirección carreras Ing. Química e Ing. Industrial: Ing. Laura Beatriz Vázquez Achar

Secretario de Facultad: Abg. Antonio Silvero

Secretaría: CPN Paola Armoa

Coordinación Académica: Ing. Pedro David Rojas

Coordinación de Pasantías y Créditos Académicos: Ing. Fabiola Samudio

Coordinación de Proyecto Final de Carrera: Ing. Vivian Rodriguez

Coordinación de Investigación y Extensión Universitaria: Ing. Gisselle Figueredo

Docente de tiempo completo carrera Ing. Informática: Ing. Rocio Oviedo Gonzalez

Docente de tiempo completo carrera Ing. Química: Ing. Christian Martínez

Docente de tiempo completo carrera Ing. Industrial: Ing. Denilson Miranda

EDITORIAL

Con renovado entusiasmo presentamos una nueva edición de la Revista Científica Ciencias y Tecnología, espacio académico que consolida el compromiso de la Unidad Académica de Ciencias y Tecnología de la Universidad Católica Campus Guairá con una de las misiones fundamentales de la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción: la promoción y el desarrollo de la investigación científica como pilar de la formación universitaria.

La investigación no constituye únicamente un requisito académico, sino una dimensión esencial del que hacer universitario, en la cual el conocimiento se genera, se sistematiza y se proyecta al servicio de la sociedad. En este sentido, esta revista se convierte en un medio concreto para visibilizar los trabajos desarrollados por nuestros egresados y docentes de las carreras de Ingeniería Química, Ingeniería Industrial e Ingeniería Informática, así como por académicos invitados de otras sedes de la Universidad Católica, fortaleciendo el diálogo interdisciplinario y la construcción colectiva del saber.

Cada artículo aquí presentado refleja procesos de análisis, innovación y compromiso profesional, evidenciando que la formación en ingeniería no se limita a la adquisición de competencias técnicas, sino que impulsa la producción de conocimiento orientado a la solución de problemáticas reales, al desarrollo tecnológico y al crecimiento sostenible de nuestra región.

Como Unidad Académica, reafirmamos que la investigación constituye un eje transversal en la formación de nuestros estudiantes y en la actualización permanente de nuestros docentes. La publicación de este nuevo número de nuestra revista representa, por tanto, no solo la difusión de resultados, sino también la consolidación de una cultura investigativa que se fortalece año tras año.

Invitamos a la comunidad académica a recorrer estas páginas con espíritu crítico y constructivo, valorando el esfuerzo y la dedicación de quienes contribuyen a que Ciencias y Tecnología continúe creciendo como referente académico y científico.

Con esta edición, renovamos nuestro compromiso con la excelencia, la ética profesional y el servicio a la sociedad, principios que orientan el accionar de nuestra Universidad y que guían el trabajo cotidiano de nuestras carreras.

Ing. Andrea Mercado Kröll, Mag.


Directora de Ingeniería Informática

Ing. Laura Vázquez

Directora de Ingeniería Química e Ingeniería Industrial

REVISTA CIENTÍFICA CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Unidad Académica de Ciencias y Tecnología - Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción
Campus Universitario Guairá, Villarrica - Paraguay

- 
- 6 | Aplicación de la Metodología de las 5S como estrategia de mejora en una empresa envasadora de agua mineral - Luis Alberto Ramírez Ortiz, Licia López Bogado
 - 11 | Coagulación/floculación con polvo de pepa de mango (mangifera indica L) en aguas del río Tebicuary - María Belén Mendoza González, Yannise Gabriela Bogado Portillo
 - 16 | Detección de ataques de Phishing con aplicación de técnicas de conjunto de Deep Learning - Sofía Tatiana Benítez Caballero, Mauricio Kreitmayr
 - 21 | Implementación de la metodología Kaizen como estrategia de mejora en una empresa de artesanía dedicada a la elaboración de sillas de hamacas, hamacas, cortinas y cubrecamas. - Elena Angela Ramona Silvero López, Edith Vázquez Achar
 - 29 | Implementación de la Metodología Lean Manufacturing para Optimización de la Producción de Envases de Papel - Daisy Diana Ramírez Génez, Edith Vázquez Achar
 - 37 | Mejora en Control y Registro de Sistema de Gestión en Empresa Automotriz - Israel Andrés Talavera Lezcano, Licia López de Bogado
 - 47 | Utilización de Modelos de Redes Neuronales Artificiales (RNA) para la Predicción del Pronóstico de la Demanda en una Empresa Textil de la Ciudad de San Miguel, Departamento de Misiones, Paraguay. - Mónica Leticia Fleitas Guillén, Andrea Mercado Kröll
 - 53 | Evaluación del lavado de suelos contaminados con plomo utilizando goma xantana como agente extractante - Maya Acosta, Celia Vázquez

Aplicación de la Metodología de las 5S como estrategia de mejora en una empresa envasadora de agua mineral

Application of the 5s Methodology as an Improvement Strategy in a Mineral Water Bottling Company

Luis Alberto Ramírez Ortiz

luchooramirez25@gmail.com
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

Licia López de Bogado

licia.lopez@uc.edu.py
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

RESUMEN

Trabajar sin desperdicios es un objetivo primordial que todas las empresas aspiran alcanzar en la actualidad. Para ello, las empresas se han valido de distintos medios, como es el caso de la metodología de las 5S. El presente trabajo investigativo consistió en la aplicación de esta metodología en la envasadora de agua mineral "DELMAR". Primeramente, se llevó a cabo la presentación del proyecto a todas las personas involucradas, sensibilizando a las mismas sobre el trabajo a ser realizado. Luego, se realizó un diagnóstico del estado inicial de la empresa, antes de realizar la aplicación propiamente dicha, donde se obtuvieron los puntos críticos. Finalmente, efectuando un diagnóstico del estado final posterior a la aplicación se pudo comparar, empleando los métodos y las técnicas pertinentes, el antes y después de la empresa. La aplicación dio como resultado una mejora significativa de los puntos críticos identificados inicialmente.

Palabras clave: metodología de las 5S, mejora continua, desperdicios, estandarización.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, nos encontramos en un mercado sumamente competitivo, en donde las empresas se

valen de diversas estrategias para lograr sobresalir por encima de las demás. Los clientes de estos mercados están más informados y son más exigentes. Los mismos no están dispuestos a pagar por algo que no satisfaga por completo sus necesidades.

Una herramienta de la que se pueden valer las empresas para lograr una ventaja competitiva es la metodología de las 5S, que es una "disciplina para mejorar la productividad en un lugar de trabajo mediante la estandarización de los hábitos de orden y limpieza." (Socconini, 2019, p. 131)

Este proyecto pretende conseguir una mejora en términos de gestión aplicando para ello la metodología de las 5S en la empresa envasadora de agua mineral natural "DELMAR", ubicada en la ciudad de Villarrica, departamento del Guairá.

MATERIALES Y MÉTODO

La aplicación de la metodología de las 5S se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa envasadora de agua mineral natural "DELMAR", ubicada en la ciudad de Villarrica, departamento del Guairá, durante los meses de marzo y abril del año 2022.

El tipo de investigación por el que se optó es el de investigación-acción. La finalidad de la investigación-

acción es comprender y resolver problemáticas específicas de una colectividad vinculadas a un ambiente, frecuentemente aplicando la teoría y mejores prácticas de acuerdo con el planteamiento (Hernández-Sampieri et al., 2014).

El enfoque que se eligió fue el cualitativo. El enfoque cualitativo se selecciona cuando el propósito es examinar la forma en que los individuos perciben y experimentan los fenómenos que los rodean, profundizando en sus puntos de vista, interpretaciones y significados (Hernández-Sampieri et al., 2014). Los datos se obtuvieron con el apoyo de cuestionarios y formularios como instrumentos de recolección que fueron empleados durante la aplicación de la metodología de las 5S.

En este proyecto se realizó un estudio situacional en la empresa a través de la observación de forma directa. Se establecieron los pasos a seguir durante el proyecto. Para ello, se trabajó en 4 fases de aplicación. El tiempo de aplicación de la metodología de las 5S fue de 6 semanas, tomando como referencia 5 días hábiles por semana.

Se realizó un diagnóstico inicial mediante la aplicación de un cuestionario, como se observa en la Figura 1. Esto con el fin de conocer el estado actual en el que se encontraba la empresa. A cada ítem del cuestionario se le asignó un valor del 1 al 5 (en donde 1 es el valor más bajo y 5 el más alto). Se tuvo el apoyo de un gráfico radial para la interpretación correcta de los datos obtenidos, como se ve en la Figura 2.

Figura 1: Cuestionario de Evaluación Inicial de las 5S

Cuestionario de Evaluación Inicial de las 5S					
Fecha	09/03/2022	Respuestas			
Elaborador	Luis Alberto Ramírez Ortiz				
Ítem a evaluar	Valores asignados				
	1	2	3	4	5
Seleccionar					
Los materiales necesarios, se encuentran de manera justa y necesaria				x	
Se encuentran los residuos en el lugar asignados para ellos				x	

Se encuentran bien organizados los materiales			x		
Se encuentran bien organizadas las máquinas y herramientas			x		
Puntaje Parcial	15				
Organizar					
Los límites y zonas de pasillos se encuentran bien señalizados		x			
Los elementos que se utilizan frecuentemente se encuentran bien ordenados				x	
Las piezas se encuentran bien ordenadas y en su lugar específico				x	
Las maquinarias se encuentran instaladas de forma que facilite su uso				x	
Puntaje Parcial	14				
Limpiar					
Se encuentra el material de limpieza bien situado				x	
El área de trabajo cuenta con una limpieza general bien hecha			x		
Existen recipientes para la disposición de la basura				x	
Existe ausencia de polvo en mesas, maquinarias o en el suelo				x	
Puntaje Parcial	15				
Estandarizar					
Se usa el equipo de protección adecuado para los trabajos				x	
Los procedimientos de trabajo se encuentran escritos				x	
Se aplican los procedimientos establecidos				x	
Existen procedimientos escritos para la capacitación			x		
Puntaje Parcial	15				
Seguimiento					
Se aplican las actividades definidas por las 5S				x	
Se realiza el orden y la limpieza de manera sistemática				x	
Se realizan capacitaciones con procedimientos definidos				x	
Se cuenta con un sistema de reconocimiento de mejoras			x		
Puntaje Parcial	13				
Puntaje Final	72				
Ítem a evaluar	Puntaje Inicial	Escala:			
Seleccionar	15	1: Mal			
Organizar	14	2: Regular			
Limpiar	15	3: Buena			
Estandarizar	15	4: Muy Buena			
Seguimiento	13	5: Excelente			
Nombre del Evaluador		Firma del Evaluador			
Luis Alberto Ramírez Ortiz					
Nombre del Encargado		Firma del Encargado			
Ing. Osvaldo Ojeda					

Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

Figura 2: Gráfico Radial. Evaluación Inicial de las 5S



Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

La fase de aplicación de la metodología de las 5S se desarrolló siguiendo cinco etapas secuenciales: Seiri

(seleccionar), Seiton (organizar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (seguimiento), conforme al modelo propuesto por Socconini & Barrantes Verdín (2020). Esta implementación se enfocó en la eliminación de elementos innecesarios, el orden, la limpieza, la estandarización de procedimientos y el hábito del mantenimiento continuo.

Durante Seiri, se identificaron y clasificaron elementos innecesarios mediante el uso de tarjetas rojas y formularios de control, con el objetivo de eliminarlos o reubicarlos (Lima Llasaca, 2019). Seiton consistió en reorganizar los elementos útiles para facilitar su localización, empleando códigos de colores y señalización clara, como indican Socconini & Barrantes Verdín (2020). En Seiso, se establecieron rutinas de limpieza que incluyeron asignación de responsables y registro en formularios, identificando las fuentes de suciedad (Herrera Huisa & Taipe Alfaro, 2017). Seiketsu permitió estandarizar las buenas prácticas logradas en las etapas anteriores, siguiendo lo dicho por Socconini & Barrantes Verdín (2020), garantizando su sostenibilidad mediante formatos visibles en el área de trabajo. Finalmente, Shitsuke se enfocó en reforzar la disciplina a través de la capacitación continua y la implementación de un sistema de reconocimiento de mejoras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez finalizada la aplicación de la metodología de las 5S se realiza un nuevo diagnóstico del estado de la empresa, empleando para ello el Cuestionario de Evaluación Final de las 5S que se puede observar en la Figura 3. A cada ítem del cuestionario se le asignó un valor del 1 al 5 (en donde 1 es el valor más bajo y 5 el más alto). Se tuvo el apoyo de un gráfico radial para la interpretación correcta de los datos obtenidos, como se ve en la Figura 4.

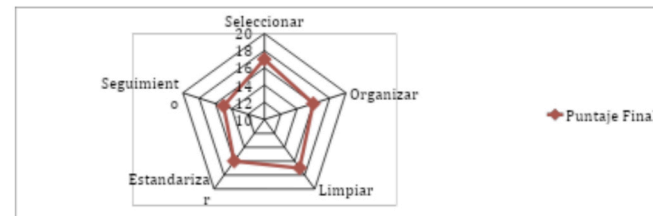
Figura 3: Cuestionario de Evaluación Final de las 5S

Cuestionario de Evaluación Final de las 5S					
Fecha	11/04/2022	Respuestas			
Elaborador	Luis Alberto Ramírez Ortiz				
Ítem a evaluar	Valores asignados				
	1	2	3	4	5

Seleccionar				
Los materiales necesarios, se encuentran de manera justa y necesaria				x
Se encuentran los residuos en el lugar asignados para ellos				x
Se encuentran bien organizados los materiales				x
Se encuentran bien organizadas las máquinas y herramientas				x
Puntaje Parcial	17			
Organizar				
Los límites y zonas de pasillos se encuentran bien señalizados				x
Los elementos que se utilizan frecuentemente se encuentran bien ordenados				x
Las piezas se encuentran bien ordenadas y en su lugar específico				x
Las maquinarias se encuentran instaladas de forma que facilite su uso				x
Puntaje Parcial	16			
Limpiar				
Se encuentra el material de limpieza bien situado				x
El área de trabajo cuenta con una limpieza general bien hecha				x
Existen recipientes para la disposición de la basura				x
Existe ausencia de polvo en mesas, maquinarias o en el suelo				x
Puntaje Parcial	17			
Estandarizar				
Se usa el equipo de protección adecuado para los trabajos				x
Los procedimientos de trabajo se encuentran escritos				x
Se aplican los procedimientos establecidos				x
Existen procedimientos escritos para la capacitación				x
Puntaje Parcial	16			
Seguimiento				
Se aplican las actividades definidas por las 5S				x
Se realiza el orden y la limpieza de manera sistemática				x
Se realizan capacitaciones con procedimientos definidos				x
Se cuenta con un sistema de reconocimiento de mejoras				x
Puntaje Parcial	15			
Puntaje Final	80			
Ítem a evaluar	Puntaje Final	Escala:		
Seleccionar	17	1: Mal		
Organizar	16	2: Regular		
Limpiar	17	3: Buena		
Estandarizar	16	4: Muy Buena		
Seguimiento	15	5: Excelente		
Nombre del Evaluador		Firma del Evaluador		
Luis Alberto Ramírez Ortiz				
Nombre del Encargado		Firma del Encargado		
Ing. Osvaldo Ojeda				

Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

Figura 4: Gráfico Radial. Evaluación Final de las 5S

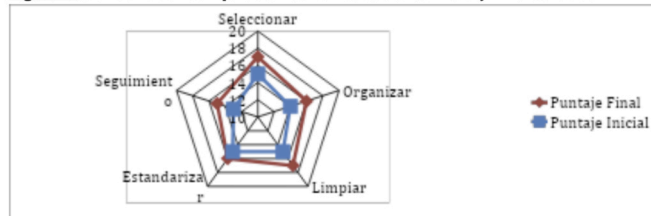


Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

Haciendo para ello uso de la Figura 2 y la Figura 4 se puede observar que los puntos más débiles de las 5S que eran la Organización y Seguimiento mejoraron

significativamente en comparación con los resultados obtenidos en la evaluación inicial. En la Figura 5 se puede denotar esta mejora de una manera más visual comparando la Evaluación Inicial de las 5S con la Evaluación Final.

Figura 5: Gráfico Radial. Comparación de las Evaluaciones Inicial y Final de las 5S



Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

Se seleccionaron las técnicas e instrumentos de recolección de datos a ser empleadas durante el desarrollo del proyecto, valiéndose para ello como instrumentos de formularios, cuestionarios y materiales audiovisuales; y como técnica la observación en forma directa, adentrándose para ello por completo al ambiente de estudio.

Se establecieron los pasos a seguir para poder llevar a cabo el desarrollo del proyecto, trabajando para ello en 4 fases de aplicación de manera a comprender mejor las etapas de aplicación. (Se puede encontrar más detalladamente esta información en el Capítulo III, 3.6) Al realizar el diagnóstico inicial mediante el Cuestionario de Evaluación (como se puede ver en la Figura 8) se observó que los puntos más críticos a mejorar en la empresa eran la Organización (Segunda S) y el Seguimiento (Quinta S).

Al aplicar de la primera S (Seiri – Seleccionar) se observa que se liberó espacio útil en el lugar de trabajo. Este espacio ahora podrá servir para otros propósitos. Asimismo, eliminando los desperdicios del lugar de trabajo se mejora considerablemente el control de los materiales, de los procesos y del producto final.

Posteriormente, mediante la segunda S (Seiton – Ordenar) se denota que la correcta identificación de las

áreas de trabajo facilita el desarrollo de las actividades llevadas a cabo en la empresa, eliminando demoras que pudieran generarse. Además, la correcta ubicación del equipo contra incendios (extintor) facilitará la visualización y el acceso al mismo en caso de emergencias.

Luego de la implementación de la tercera S (Seiso – Limpiar) fueron identificadas las fuentes de suciedad y se trató de mantener en todo momento limpia el área de trabajo de manera a evitar que la calidad del producto final se pudiera ver afectada. Además, haciendo uso del Formulario de Registro de Limpieza, que se observa en la Figura 35, se tiene un documento que posibilite visualizar mejor los días en los que se llevarán a cabo ciertas actividades de limpieza, su frecuencia y así también los responsables de estas.

Al aplicar la cuarta S (Seiketsu – Estandarizar) se estandarizaron las actividades llevadas a cabo en la Empresa Envasadora de Agua Mineral Natural “DELMAR”, permitiendo con esto mantener lo conseguido en las primeras tres S (Seleccionar, Ordenar y Limpiar).

Finalmente, al implementar la quinta S (Shitsuke – Seguimiento) se pudieron dar las condiciones para que la aplicación de la metodología de las 5S se volvieran un hábito. Mediante la difusión del programa, la utilización de fotografías para comparar el antes y después de la aplicación de la metodología y los documentos respaldatorios del trabajo se pudo dar a entender a todas las personas ligadas a la empresa la importancia de las 5S y de esa forma volverlas parte de su día a día.

AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo humano de la Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción” – Campus Guairá por su asesoría y acompañamiento constante durante el transcurso de la carrera, especialmente a las directoras de las carreras la Ing. Laura Vázquez Achar y la Ing. Andrea Mercado Kröll.

REFERENCIAS

- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). Metodología de la Investigación (6a ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Herrera Huisa, B. I., & Taipe Alfaro, J. D. (2017). Implementación de la metodología 5s en el Laboratorio de No Metálicos FIQ – UNCP 2017. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Lima Llasaca, W. Á. (2019). Diseño e implementación de la Metodología 5S para mejorar la gestión de almacén de la Empresa CFG Investment SAC, Lima 2018. Universidad Peruana de Las Américas.
- Socconini, L. V. (2019). LEAN MANUFACTURING. Paso a paso (1a ed.). Marge Books.
- Socconini, L. V., & Barrantes Verdín, M. A. (2020). El proceso de las 5'S en acción (3a ed.). Marge Books.

Coagulación/floculación con polvo de pepa de mango (*Mangifera indica* L) en aguas del río Tebicuary

Coagulation/Flocculation with Mango (*Mangifera indica* L.) Seed Powder in Water from the Tebicuary River

María Belén Mendoza González

mendezagonzalezmariabelen@gmail.com
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

Yanisse Gabriela Bogado Portillo

yanisse.bogado@uc.edu.py
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la coagulación/floculación con polvo de pepa de mango (*Mangifera indica* L.) en aguas del río Tebicuary, como alternativa natural a los coagulantes químicos comúnmente utilizados en plantas de tratamiento. La investigación se desarrolló bajo un diseño factorial 4x2, variando dosis de 0,5; 1; 2 y 3 g de polvo de pepa de mango y tiempos de mezcla lenta de 10 y 30 min, con el fin de determinar su influencia en la remoción de turbidez y la reducción de sólidos totales suspendidos (SST). Los mejores resultados se alcanzaron con la dosis de 0,5 g y 30 min de mezcla lenta, logrando un 45,34 % de reducción de turbidez y 61,70 % de reducción de SST. El estudio demuestra que la pepa de mango es una alternativa viable, de bajo costo y ambientalmente sostenible, con potencial para ser aplicada en contextos rurales y comunitarios.

Palabras clave: coagulación, floculación, turbidez, sólidos totales suspendidos, *Mangifera indica* L.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la población mundial ha crecido drásticamente, esto ha ocasionado un aumento en la demanda de agua potable. Dichas aguas provienen de fuentes superficiales o subterráneas, las cuales

requieren de tratamientos de potabilización (Martínez et al., 2017).

Uno de los tratamientos más utilizados es la coagulación/floculación, en el cual se permite la separación del sólido del líquido por medio de la aglutinación de pequeñas masas con un peso superior a la del agua (Guzmán, 2017).

Los coagulantes más utilizados son de origen químico, sin embargo, se asocian a problemas en la salud, así como problemas ambientales a largo plazo. Los coagulantes naturales resultan de gran interés para muchos investigadores debido a que son biodegradables, poseen un bajo costo, además, de poseer fuente abundante (Martínez et al., 2017).

En esta investigación se estudia al mango (*mangifera indica* L) como coagulante natural para la remoción de la turbidez de aguas del Río Tebicuary. Se evaluaron la influencia de dos variables, la dosis de polvo de pepa de mango y el tiempo de mezcla lenta en los porcentajes de remoción de la turbidez y los sólidos totales suspendidos.

MARCO CENCEPTUAL

1. **Coagulación y floculación en el tratamiento de agua**
La coagulación es el proceso mediante el cual se neutralizan las cargas eléctricas de las partículas coloidales presentes en el agua, lo que permite que se aglomeren y puedan sedimentarse. Posteriormente, la floculación consiste en la formación de flóculos más grandes y densos mediante agitación lenta, facilitando su separación del agua (Guzmán, 2017).
2. **Limitaciones de los coagulantes químicos**
El sulfato de aluminio y el cloruro férrico son los coagulantes más utilizados a nivel global. Si bien alcanzan reducciones de turbidez superiores al 90 %, su uso prolongado genera impactos ambientales y riesgos para la salud (Martínez et al., 2017).
3. **Coagulantes naturales: ventajas y aplicaciones**
Los coagulantes naturales han cobrado relevancia como tecnologías apropiadas, especialmente en zonas rurales. Entre los más estudiados se encuentra la *Moringa oleífera*, que ha demostrado altos porcentajes de remoción de turbidez y bacterias. Otras alternativas incluyen almidones modificados, semillas de tamarindo y cactáceas (Bermúdez et al., 2014; Nabhan, 2023).
4. **Semilla de mango (*Mangifera indica* L.)**
El mango es una fruta tropical cuya semilla representa aproximadamente el 10–20 % del peso total del fruto. Investigaciones químicas han determinado la presencia de proteínas, lípidos y fibras en la semilla, siendo mayor el contenido de carbohidratos compuestos responsables de la coagulación (Ramírez et al., 2015). Estudios en Perú, Venezuela y Colombia han reportado remociones de turbidez entre 40 y 65 % con polvo de semilla de mango (Carrasquero et al., 2017; Domínguez & Rebaza, 2019).
5. **Río Tebicuary**
El río Tebicuary se extiende por más de 500 km y constituye la segunda cuenca hidrográfica más importante de Paraguay. Sus aguas abastecen a poblaciones urbanas y rurales, pero enfrentan

problemas de contaminación debido a la agroindustria, deforestación y vertido de residuos. El MADES (2022) ha reportado valores de turbidez superiores a los permitidos por la normativa nacional, lo que hace necesario evaluar alternativas de potabilización locales.

METODOLOGÍA

1. **Tipo y diseño de investigación**
El estudio fue experimental con enfoque cuantitativo, aplicando un diseño factorial 4x2: cuatro niveles de dosis de coagulante (0,5; 1; 2; 3 g) y dos tiempos de mezcla lenta (10 y 30 min), con 3 repeticiones para cada tratamiento.
2. **Preparación del coagulante**
Las semillas de mango fueron recolectadas, lavadas, secadas a 60 °C por 48 h, trituradas y tamizadas hasta obtener un polvo fino.
3. **Recolección de muestras de agua**
Las muestras se obtuvieron del río Tebicuary, en Villarrica, durante marzo–agosto 2023. El almacenamiento se realizó en recipientes plásticos limpios, siguiendo normas de muestreo APHA (2017).
4. **Procedimiento experimental**
-Mezcla rápida: 2 min a 100 rpm.
-Mezcla lenta: 10 y 30 min a 30 rpm.
-Sedimentación: 30 min en reposo.
Posteriormente se midieron turbidez (NTU) y SST (mg/L).
5. **Variables**
Independientes: dosis y tiempo de mezcla lenta
Dependientes: turbidez y SST.
Constantes: volumen de muestra (1 L), temperatura ambiente, pH inicial.
6. **Análisis de datos**
Los resultados se procesaron con análisis de varianza (ANOVA), considerando un nivel de significancia de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización inicial de las muestras

Las muestras del río Tebicuary presentaron una turbidez

promedio de 73,67 NTU y un contenido de sólidos suspendidos totales (SST) de 31,33 mg/L, valores que superan los límites recomendados para consumo humano (MADES, 2022).

Rendimiento del coagulante natural

A partir de 1 kg de semilla de mango se obtuvo 600 g de polvo de pepa de mango (60 % de rendimiento), lo que evidencia un aprovechamiento significativo de este residuo agroindustrial como coagulante natural.

Efecto de la dosis en la remoción de turbidez

Los porcentajes de remoción de turbidez (Tabla 1) oscilaron entre 19,91 % y 45,34 %, siendo la mayor eficiencia obtenida con 0,5 g de coagulante y 30 min de mezcla lenta. Dosis superiores redujeron la eficiencia, probablemente por fenómenos de reestabilización de partículas y formación de microfloculos con baja sedimentación (Andia, 2000).

Tabla N°1: Porcentaje de remoción de turbidez

Tratamiento	Dosis (g)	Tiempo (min)	r1	r2	r3	% RT
1	0,5	10	41,30 %	40,18 %	39,42 %	40,30 %
2	1	10	35,82 %	36,24 %	35,57 %	35,88 %
3	2	10	28,05 %	32,18 %	30,77 %	30,33 %
4	3	10	21,27 %	15,84 %	22,62 %	19,91 %
5	0,5	30	47,14 %	42,65 %	46,23 %	45,34 %
6	1	30	44,15 %	40,92 %	39,47 %	41,52 %
7	2	30	38,10 %	35,87 %	34,98 %	36,32 %
8	3	30	33,78 %	33,99 %	33,04 %	33,60 %

Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

La prueba LSD (Diferencia Mínima Significativa) confirmó que, para un tiempo de mezcla lenta de 30 min, no existió una diferencia estadísticamente significativa en el %RT al utilizar dosis de 2 o 3 g (diferencia de medias = 2.71 < LSD = 3.49). Sin embargo, las diferencias entre otras combinaciones de dosis fueron significativas.

Tabla N°3: Diferencia de media de los tratamientos (dosis)

	Con tiempo 10 min	Con tiempo 30 min
$\mu 1-\mu 2 =$	4,4208	$\mu 5-\mu 6 =$ 3,8235
$\mu 1-\mu 3 =$	9,9638	$\mu 5-\mu 7 =$ 9,0226
$\mu 1-\mu 4 =$	20,3891	$\mu 5-\mu 8 =$ 11,7376
$\mu 2-\mu 3 =$	5,5430	$\mu 6-\mu 7 =$ 5,1991
$\mu 2-\mu 4 =$	15,9683	$\mu 6-\mu 8 =$ 7,9140
$\mu 3-\mu 4 =$	10,4253	$\mu 7-\mu 8 =$ 2,7149

Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

Nota: Se indican los valores mayores a LSD en celeste mientras que los menores en naranja

Efecto del tiempo de mezcla lenta

El incremento del tiempo de mezcla de 10 a 30 min elevó los porcentajes de remoción, confirmando que una mayor duración favorece la formación y sedimentación de floculos. Sin embargo, la diferencia entre tiempos fue menor en dosis bajas, sugiriendo que puede lograrse una buena eficiencia aún con tiempos de mezcla reducidos, lo que aporta ventajas operativas en sistemas comunitarios.

Resultados semejantes fueron descritos por Domínguez & Rebaza (2019), quienes destacaron la importancia de tiempos intermedios de floculación (20–30 min), mientras que Martínez et al. (2017) obtuvieron remociones superiores al 90 % con condiciones controladas en aguas sintéticas.

Reducción de sólidos suspendidos totales (SST)

El porcentaje de reducción de SST (Tabla 2) alcanzó un máximo de 61,70 % con 0,5 g de coagulante y 30 min de mezcla lenta, confirmando la tendencia observada para la turbidez.

Tabla N°4: Porcentaje de reducción de sólidos totales suspendidos

Tratamiento	Dosis (g)	Tiempo (min)	r1	r2	r3	% RT
1	0,5	10	52,13 %	58,51 %	61,70 %	57,45 %
2	1	10	32,98 %	39,36 %	36,17 %	36,17 %
3	2	10	17,02 %	13,83 %	23,40 %	18,09 %
4	3	10	4,26 %	7,45 %	1,06 %	4,26 %
5	0,5	30	68,09 %	61,70 %	55,32 %	61,70 %
6	1	30	45,74 %	39,36 %	32,98 %	39,36 %
7	2	30	23,40 %	26,60 %	20,21 %	23,40 %
8	3	30	17,02 %	13,83 %	10,64 %	13,83 %

Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

Estos resultados coinciden con lo observado por Pastrana (2021), quien reportó reducciones de hasta 56 % en aguas residuales, y difieren de Domínguez & Rebaza (2019), que alcanzaron valores cercanos al 91 %, posiblemente debido a diferencias en la calidad del agua y condiciones experimentales.

El análisis de varianza (ANOVA) para el %RS (Tabla 4) indicó que el efecto lineal de la dosis (A1), el efecto cuadrático de la dosis (A2) y el efecto lineal del tiempo (B1) fueron estadísticamente significativos (Valor-p < 0.05). No se encontraron interacciones significativas entre los factores para este parámetro. Al igual que con la turbidez, la dosis fue el factor de mayor influencia (FO = 455.11).

Tabla N°5: Mejor ANOVA correspondiente al porcentaje de reducción de SST

Fuente de Variación	SC	GL	CM	F0	Valor-p	F crítica
A ₁	8529,5100	1	8529,5100	455,1132	0,00000000000000031	4,3512
A ²	153,2085	1	153,2085	8,1748	0,0096974212071653	4,3512
B ₁	187,1605	1	187,1605	9,9864	0,0049240109853754	4,3512
Error	374,8302	20	18,7415	1	0,50000	2,1242
Total	9244,7091	23				

Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

La prueba LSD mostró que, para dosis de 0.5, 1 y 2 g, el tiempo de mezcla lenta (10 vs. 30 min) no produjo diferencias estadísticamente significativas en el %RS. Sin

embargo, para la dosis de 3 g, el mayor tiempo de mezcla sí mejoró significativamente la reducción.

Tabla N°5: Diferencia de media de los tratamientos

	Con tiempo de 10 min	Con tiempo de 30 min	Misma dosis diferente tiempo
μ1-μ2 =	21,2766	μ5-μ6 = 22,3404	μ1-μ5 = 4,2553
μ1-μ3 =	39,3617	μ5-μ7 = 38,2979	μ2-μ6 = 3,1915
μ1-μ4 =	53,1915	μ5-μ8 = 47,8723	μ3-μ7 = 5,3191
μ2-μ3 =	18,0851	μ6-μ7 = 15,9574	μ4-μ8 = 9,5745
μ2-μ4 =	31,9149	μ6-μ8 = 25,5319	
μ3-μ4 =	13,8298	μ7-μ8 = 9,5745	

Fuente: Elaboración propia con base en lo investigado

Nota: Se indican los valores mayores a LSD en celeste mientras que los menores en naranja

Discusión general e implicancias

Los hallazgos muestran que la semilla de mango tiene una capacidad coagulante-floculante intermedia respecto a coagulantes químicos, pero comparable a otros coagulantes naturales como Moringa oleífera o Caesalpinia spinosa (Bravo & Gutiérrez, 2016; Bermúdez et al., 2014). Su mayor fortaleza radica en la sostenibilidad: es un subproducto agrícola de bajo costo, disponible localmente y con potencial de aplicación en comunidades rurales paraguayas.

Además, la utilización de residuos agroindustriales en el tratamiento de agua aporta beneficios ambientales al fomentar la economía circular y reducir la dependencia de insumos químicos importados.

CONCLUSIÓN

El polvo de pepa de mango (*Mangifera indica* L.) mostró capacidad como coagulante natural en aguas del río Tebicuary, logrando reducciones de turbidez de hasta 45 % y de sólidos suspendidos totales de 61 % con una dosis de 0,5 g y 30 minutos de mezcla lenta, lo que confirma que la dosis y el tiempo influyen directamente en la eficiencia del proceso. Aunque sus resultados son menores frente a coagulantes químicos, representa una alternativa económica, inocua y sostenible, además de contribuir a la valorización de residuos agroindustriales y

a la reducción de impactos ambientales. Para futuros trabajos se recomienda realizar pruebas a mayor escala, comparar con otros coagulantes naturales y químicos, evaluar diferentes tipos de aguas y parámetros adicionales como DQO y DBO₅, así como estudiar la composición de la semilla y la posible extracción de aceite, además de analizar la factibilidad económica de su aplicación en reemplazo parcial o total de los coagulantes convencionales.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi familia por su apoyo constante, a la ITAIPU Binacional por su compromiso social, a mi tutora y docentes por su guía y dedicación, y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la culminación de este trabajo.

REFERENCIAS

- Andía Cárdenas, Y. (Abril de 2000). Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. Tratamiento de agua. Coagulación-floculación. [Archivo PDF]. Lima, Perú. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Bermúdez, J., García, L., & Rodríguez, M. (2014). Uso de Moringa oleífera como coagulante natural. *Revista Colombiana de Química*, 43(2), 25-33.
- Bravo, M., Gutiérrez, J. (2016). Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del Río Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (tara). Universidad Nacional de Trujillo.
- Castrillón, D., Giraldo M. (2012). Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa Santana. Universidad Tecnológica de Pereira,
- Domínguez, M., & Rebaza, D. (2019). Evaluación de coagulantes vegetales para la remoción de turbidez en aguas residuales. *Revista Peruana de Ingeniería*, 23(1), 77-85.
- Guzmán, L. (2017). Procesos de coagulación/floculación en tratamiento de agua. *Ingeniería Ambiental*, 21(3), 89-102.
- MADES (2022). Informe de calidad de aguas del río Tebicuary. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Martínez G., Marquina C., Carrasquero S, Martínez M., Rodríguez C., Monroy., Morris A. (2017). El Extracto de Semillas de Mango (*Mangifera indica* L) como Coagulante Natural en la Potabilización de Agua. Instituto de Gestión del Conocimiento, Venezuela.
- Nabhan, J. (2023). Influencia del almidón de maíz como coagulante natural. *Revista de Ciencias Ambientales*, 18(1), 102-113.
- Pastrana, A. (2021). Coagulación de aguas superficiales mediante mezclas coagulantes de crotalaria longirostrata (chipilín) y sulfato de aluminio. Universidad Juárez autónoma de Tabasco.
- Ramírez, A., Torres, L., Corzo, L. (2015). Caracterización química de la semilla de mango (*Mangifera indica* L.) y la valorización de algunos de sus componentes. Instituto Politécnico Nacional.

Detección de ataques de Phishing con aplicación de técnicas de conjunto de Deep Learning

Phishing attack detection using Deep Learning ensemble technique

Sofía Tatiana Benítez Caballero

sofibtzc@gmail.com

Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

Mauricio Kreitmayr

ckreitma@uc.edu.py

Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

RESUMEN

Los ataques de phishing representan una amenaza creciente en el entorno digital, dirigidos a obtener información confidencial de personas y organizaciones. Los métodos tradicionales de detección resultan insuficientes frente a la sofisticación de estos ataques. Este estudio propone utilizar algoritmos de Deep Learning con técnicas de conjunto para identificar phishing en correos electrónicos. Estos algoritmos pueden analizar grandes volúmenes de datos y detectar patrones complejos, mejorando la precisión de la detección. Las técnicas de conjunto combinan múltiples modelos para reforzar el rendimiento del sistema. Se realizaron evaluaciones experimentales utilizando métricas de rendimiento y conjuntos de datos de correos electrónicos. Los resultados muestran que los algoritmos de Deep Learning con técnicas de conjunto superan a los métodos tradicionales en precisión y eficiencia. Al aplicar este enfoque, las organizaciones pueden proteger mejor su información confidencial y reducir los riesgos asociados a ataques de phishing.

Palabras Clave: Phishing, Deep Learning, ataques, correo electrónico.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la tecnología y la

expansión de Internet, red global que conecta a millones de dispositivos, han transformado múltiples aspectos de la vida cotidiana, especialmente en áreas como las compras en línea, las transacciones financieras y los servicios digitales. Sin embargo, este avance también ha incrementado la exposición a amenazas cibernéticas, entre las que destaca el phishing, un tipo de ataque basado en la Ingeniería Social. Según López & Carlos (2015), esta técnica consiste en el uso de métodos de engaño por parte de ciberdelincuentes para manipular a los usuarios autorizados y obtener información confidencial. De acuerdo con APWG (2021), el phishing emplea tácticas fraudulentas que se presentan como entidades legítimas con el fin de sustraer credenciales financieras y datos personales.

El uso del correo electrónico como medio fundamental de comunicación y transacción ha convertido a este canal en un objetivo recurrente para los ciberdelincuentes. Singh & Sharma (2019) advierten que los ciberataques pueden comprometer la integridad de datos personales, corporativos y gubernamentales, generando pérdidas económicas significativas. Frente a este escenario, se hace necesaria la implementación de estrategias eficaces para detectar y mitigar dichos ataques.

En este contexto, las técnicas de Machine Learning (aprendizaje automático), entendidas como un campo de la inteligencia artificial (IA) que permite a los sistemas aprender a partir de datos sin programación explícita (Hurwitz & Kirsch, 2018), han demostrado un alto potencial en la identificación de patrones de comportamiento malicioso. A su vez, el Deep Learning (aprendizaje profundo), que incluye enfoques como el aprendizaje supervisado y no supervisado (Müller & Guido, 2017), ha permitido el desarrollo de modelos más precisos y adaptativos en la detección de amenazas complejas.

El objetivo principal de esta investigación es proponer un modelo basado en técnicas de Deep Learning para evaluar y mejorar la efectividad en la detección de ataques de phishing en correos electrónicos, contribuyendo al fortalecimiento de la ciberseguridad y la protección de datos en entornos digitales.

MARCO TEÓRICO

1. Phishing: concepto y evolución

El término phishing deriva de la analogía con la pesca (fishing), en la cual el atacante “lanza un anzuelo” con la esperanza de que la víctima “muerda” y proporcione sus datos personales. Según la Anti-Phishing Working Group (APWG, 2021), el phishing se define como una actividad delictiva basada en el uso de tácticas engañosas que simulan comunicaciones legítimas con el objetivo de sustraer información sensible, como credenciales bancarias, contraseñas o datos personales. Este tipo de ataque explota la confianza de los usuarios al presentarse como entidades reconocidas o confiables.

2. Técnicas tradicionales de detección de phishing

Durante años, la detección de phishing se basó principalmente en métodos tradicionales como listas negras, filtros heurísticos y análisis de firmas. Aunque estas técnicas han sido útiles, presentan limitaciones importantes, especialmente frente a nuevas variantes de

ataques que cambian constantemente sus patrones. Estas limitaciones han impulsado la necesidad de adoptar enfoques más avanzados que permitan detectar amenazas emergentes con mayor precisión y rapidez.

Entre las técnicas tradicionales, destacan los filtros basados en reglas, el análisis de URL, el reconocimiento de patrones lingüísticos y la verificación de dominios. Sin embargo, estos métodos suelen ser reactivos, dependen de bases de datos actualizadas y no siempre logran identificar ataques desconocidos (zero-day), lo que reduce su efectividad ante un panorama de amenazas en constante evolución.

3. Machine Learning (ML) y su aporte en la detección de phishing

El Machine Learning (aprendizaje automático) ha emergido como un enfoque prometedor en el campo de la ciberseguridad. Se trata de un subcampo de la inteligencia artificial (IA) que permite a los sistemas aprender automáticamente a partir de datos y mejorar su rendimiento sin necesidad de programación explícita (Hurwitz & Kirsch, 2018). En el contexto de la detección de phishing, los modelos de ML pueden identificar patrones y características de correos electrónicos maliciosos mediante el análisis de grandes volúmenes de información.

El proceso generalmente implica la recopilación y preprocesamiento de datos, la selección de características relevantes y el entrenamiento de modelos supervisados o no supervisados. Los algoritmos comúnmente utilizados incluyen máquinas de vectores de soporte (Support Vector Machines - SVM), árboles de decisión, bosques aleatorios y regresión logística.

4. Deep Learning (DL) y su papel en la detección avanzada

En el ámbito de la ciberseguridad, las arquitecturas de Deep Learning como las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y las Redes de Memoria a Largo Plazo (LSTM) se utilizan para analizar el contenido de los correos electrónicos, la estructura de

los mensajes y las características semánticas del texto.

Además, el uso de modelos preentrenados como BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) ha mejorado significativamente la comprensión del lenguaje natural, optimizando la precisión en la detección de mensajes fraudulentos.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación se estructuró en varias etapas fundamentales que abarcan desde la recopilación de datos hasta la evaluación final de los modelos desarrollados.

1. Recopilación y preparación de datos

La primera etapa consistió en la recopilación de información, conformando dos conjuntos de datos diferenciados: uno correspondiente a correos electrónicos de phishing y otro a correos legítimos. Estos datos fueron adaptados a los formatos TXT y CSV, respectivamente, con el fin de cumplir con los requerimientos técnicos necesarios para las etapas posteriores.

Posteriormente, se realizó un proceso de preprocesamiento y limpieza de datos, que incluyó tareas como la tokenización, la aplicación de expresiones regulares y la eliminación de palabras vacías (stopwords).

2. Selección, diseño y entrenamiento de modelos

Una vez preparados los datos, se procedió a la selección y diseño de los modelos de aprendizaje profundo. Se optó por una arquitectura híbrida que combina dos enfoques ampliamente utilizados en el procesamiento del lenguaje natural: Convolutional Neural Networks (CNN) y Long Short-Term Memory (LSTM).

Para el entrenamiento, los datos fueron divididos cuidadosamente en conjuntos de entrenamiento y prueba, con el objetivo de asegurar un

aprendizaje adecuado y una evaluación confiable.

3. Evaluación y análisis del rendimiento

Tras el proceso de entrenamiento y optimización, los modelos fueron evaluados utilizando métricas clave como loss, accuracy, recall y F1-score, que permitieron medir de forma integral su efectividad.

Asimismo, se analizaron las curvas de entrenamiento y validación en función de la pérdida y precisión, lo que permitió obtener una visión más profunda sobre el comportamiento de los modelos y su progreso durante el proceso de aprendizaje.

4. Presentación y comparación de resultados

Finalmente, se presentaron los resultados obtenidos, incluyendo el registro del desempeño de los modelos en cada epoch, con especial atención a la evolución de las métricas de pérdida y precisión.

También se llevó a cabo una evaluación comparativa basada en variables relevantes como el tamaño del conjunto de datos, la cantidad de epochs, el número de capas de las redes neuronales, las estrategias de regularización aplicadas y la elección del algoritmo de optimización (RMSprop).

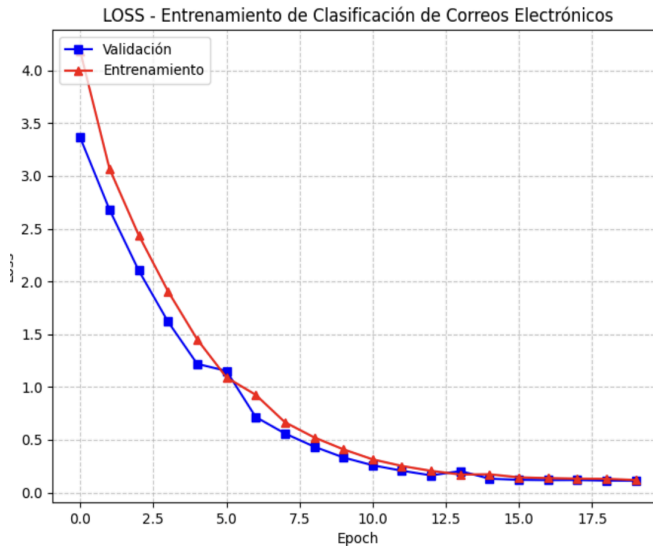
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de esta investigación evidencian la eficacia de los modelos propuestos para la detección automática de correos electrónicos de phishing. A partir del entrenamiento y evaluación de distintas arquitecturas basadas en redes neuronales profundas, se demostró que la combinación de modelos CNN-LSTM ofreció el mejor rendimiento en términos de precisión, recall y F1-score.

Durante las fases de entrenamiento, el modelo mostró una mejora progresiva en su capacidad de clasificación. La pérdida (loss) disminuyó significativamente a medida que avanzaban los epochs.,

mientras que la precisión alcanzó valores cercanos al 98 %, evidenciando su capacidad para distinguir entre correos legítimos y maliciosos.

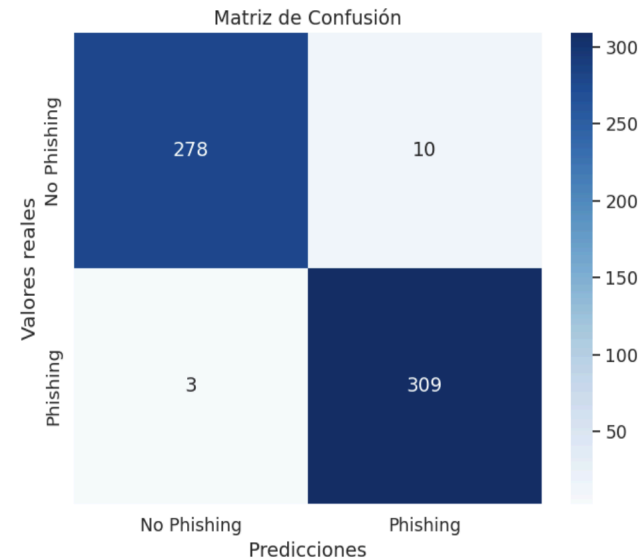
Figura N°1: Curvas de entrenamiento y validación en función a loss – 2do Modelo CNN-LSTM.



Fuente: Elaboración propia

La matriz de confusión final reflejó un desempeño altamente satisfactorio, con una precisión global del 96,8 % y un recall del 99 %, lo que demuestra una alta capacidad de detección y una baja tasa de errores. Asimismo, el F1-score de 0,979 confirmó el equilibrio entre precisión y sensibilidad, superando los resultados reportados en estudios previos.

Figura N°2: Matriz de confusión.



Fuente: Elaboración propia

Estos hallazgos evidencian que el aumento del conjunto de datos, la correcta selección de hiperparámetros y la combinación de técnicas de procesamiento del lenguaje natural con modelos profundos contribuyeron a mejorar significativamente la capacidad de clasificación y el rendimiento general del sistema.

CONCLUSIÓN

Los resultados alcanzados validan la efectividad del enfoque propuesto para la detección de correos electrónicos de phishing mediante técnicas de aprendizaje profundo. El modelo desarrollado logró altos niveles de precisión, recall y F1-score.

REFERENCIAS

- Edgardo Lopez y Ricardo Salvador. «Ingeniería social : el ataque silencioso.» Revista tecnológica (2015).
- Anti-Phishing Working Group, Inc. Phishing Activity Trends Reports. 12 de 2021. 14 de 03 de 2023. <<https://apwg.org/trendsreports/>>.
- Singh, Rajeev y T. P. Sharma. Present Status of Distributed Denial of service (DDoS) Attacks in InternetWord. Inernational Journal of Mathematica, Engineering and Management Sciences, 2019. <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2019.4.4-080>
- Hurwitz, Judith y Daniel Kirsch. Machine Learning For Dummies, IBM Limited Edition. Rev Mengle, 2018.
- Müller, Andreas C. y Sarah Guido. INTRODUCTION TO MACHINE LEARNING WITH PYTHON. EEUU: O'Reilly Media, 2017.

Implementación de la metodología Kaizen como estrategia de mejora en una empresa de artesanía dedicada a la elaboración de sillas de hamacas, hamacas, cortinas y cubrecamas.

Implementation of the Kaizen methodology as an improvement strategy in a crafts company dedicated to the production of hammock chairs, hammocks, curtains and bedspreads.

Elena Angela Ramona Silvero López

elenasilvero99@gmail.com
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

Edith Vázquez Achar

edith.vazquez@uc.edu.py
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

RESUMEN

La siguiente investigación estudia la implementación de la metodología Kaizen como estrategia de Mejora Continua en una empresa de artesanía dedicada a la elaboración de sillas de hamacas, hamacas, cortinas y cubrecamas. Para el desarrollo de la misma se implementó el ciclo de Deming, el cual se divide en 4 fases que son Planear, Hacer, Verificar y Actuar. Primeramente, se llevó a cabo la presentación del proyecto a los directivos de la empresa, y se conformó un equipo de trabajo para posteriormente realizar un análisis causa-raíz del sector productivo de cordones-manijas de sillas de hamacas y hamacas cuna. Se constató que en la producción de cordones presentaba una pérdida de 22,375 kg de hilos como desperdicio, representando el 35% de la producción total de cordones. En vista de ello, se estudió las causas y efectos del problema presentado a fin de buscar soluciones efectivas a la misma. Finalmente, una vez ejecutado las herramientas necesarias para la implementación de la metodología Kaizen se pudo comprobar, empleando los métodos y técnicas pertinentes, la reducción de hilos desperdiciados a un 11% de la producción total de cordones, el cual representa una mejora significativa del problema hallado inicialmente.

Palabra clave: Kaizen, mejora continua, ciclo de Deming, desperdicios.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, todas las empresas se encuentran comprometidas con la satisfacción del cliente mediante la buena calidad y buen precio de sus bienes y/o servicios. Es por ello que constantemente se busca implementar mejoras continuas en la producción, como es el caso de Kaizen, "Kai=Cambio" y "Zen=Bueno" el cual es un esfuerzo intenso y coordinado enfocado en lograr una mejora radical de un solo proceso u operación dentro de una organización.

Según (Burbano Pasaje & Torres Román, 2020) aplicar esta metodología permite mejorar acciones, actividades, procesos que en el momento no están generando valor, y para que esta herramienta sea efectiva se requiere el compromiso de todos los empleados de la empresa; es considerada económica, efectiva y hace que todos en la empresa trabajen de manera coordinada.

Asimismo, al desarrollar una cultura de mejora continua, que incluye a todos los trabajadores, se lleva a cabo un esfuerzo complementario hacia el mejoramiento del desempeño a nivel de organización en

todos los niveles, dirigido hacia la satisfacción de metas funcionales y transversales como la calidad, costos y potenciales humanos, con el fin de conseguir una mayor satisfacción del cliente (Vargas Crisóstomo & Camero Jiménez, 2021)

Este proyecto consiste en la implementación de Kaizen a fin de mejorar el proceso de producción de sillas/hamacas de la empresa, minimizando los desperdicios de materias primas e insumos, el cual puede representar una pérdida para la industria.

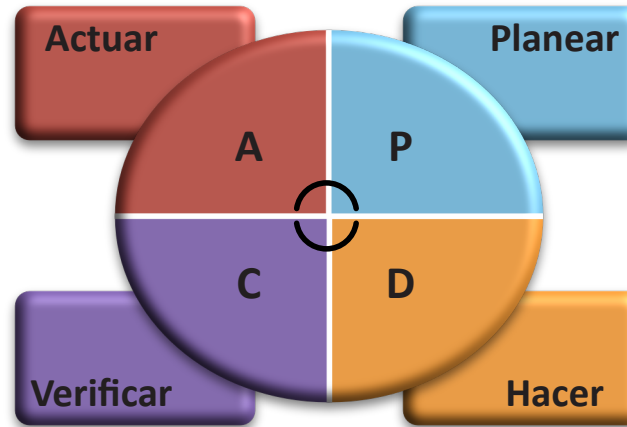
Kaizen, al igual que las metodologías similares requiere de un compromiso y total predisposición de los trabajadores ya que mediante ellos se pueden aplicar este concepto dentro de una empresa y cumplir con la mejora.

MARCO TEÓRICO

Historia y definición de Kaizen: El significado del Kaizen proviene de dos ideogramas japoneses: “Kai” que significa cambio y “Zen” que quiere decir para mejorar. Así, podemos decir que “Kaizen” es “cambio para mejorar” o “mejoramiento continuo”. (Atehortua Tapias & Restrepo Correa, 2010)

Es una filosofía japonesa que permite obtener mejoras continuas a través de herramientas sencillas y de bajo costo, siendo aplicable a todas las áreas de la empresa, producción, calidad, administración, ventas, mercadeo, entre otras, con el objetivo de crear una cultura colectiva con la premisa de mejorar los procesos día tras día, involucrando a todos los niveles jerárquicos de la compañía en dicho proceso de mejoramiento continuo. (Armas Sairitupac, 2018)

Ciclo de Deming: El ciclo PDCA, también conocido como "Círculo de Deming" (de Edwards Deming), es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos, basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart. También se denomina espiral de mejora continua. (Atehortua Tapias, 2010)



Fuente: Diseño de un modelo de gestión Lean Manufacturing empleando la herramienta Kaizen en el área de producción de la empresa “aplanchados doña chepa”. (Burbano Pasaje & Torres Román, 2020)

- **Planear:** En esta etapa es lo más importante e influyente, ya que se busca las actividades de procesos susceptibles de mejora y se realizan los objetivos establecidos. (Castellanos Martel, 2018)
- **Hacer:** El hacer lleva a determinar las responsabilidades para la ejecución de lo planeado, definir y proveer los recursos necesarios para el cumplimiento del plan, desarrollar las acciones definidas en el plan y documentar y registrar las acciones desarrolladas. (Alanya Espinoza, 2022)
- **Verificar:** Una vez ejecutado la mejora, se procede una etapa de prueba para verificar su buen uso de funcionamiento. Por lo tanto, si la mejora no cumple las expectativas iniciales habrá que cambiar para reajustarla hacia los objetivos esperados. (Castellanos Martel, 2018)
- **Actuar:** Analizar y corregir las posibles desviaciones detectadas o, en su defecto, estandarizar y consolidar la nueva forma de hacer para que los resultados sean mejores. (Asturias Corporación Universitaria, n.d.)

Técnicas para la mejora de procesos

- **Matriz Es/No Es:** Es un método enfoque, mediante preguntas sucesivas “¿Qué es?” y “¿Qué no es?” el cual permite clarificar un problema, ponerlo en contexto real y crear el enunciado. El propósito es afinar la definición del problema que necesita ser resuelto. (Jimenez, 2013)
- **Diagrama de Ishikawa:** También conocido como Diagrama de pescado o Diagrama de Causa-Efecto, es una herramienta que permite analizar de una manera integral, las diferentes causas que explican un problema determinado, facilitando el proceso de búsqueda de causas al sugerir ramas y agrupaciones de las mismas. (Gomez Bravo, 1991)
- **5 Por qué:** Es un método que se basa en la realización de preguntas que buscan explorar la causa-efecto de un suceso o problema en particular. El primer «porqué» va generando otro como consecuencia y así sucesivamente. Esta es una de las metodologías de mejora de procesos más sencillas y tal vez más fáciles de aplicar, además a lo largo de su existencia sigue presentando buenos resultados de análisis (Rodriguez, 2023)
- **Lluvia de ideas:** Las sesiones de lluvia o tormenta de ideas son una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre determinado tema o problema. Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo, ya que permite la reflexión y el diálogo con respecto a un problema y en términos de igualdad. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009)
- **Quality Function Deployment (QFD):** El Despliegue de la Función de Calidad (QFD) es un enfoque proactivo y centrado en tener en cuenta la Voz del Cliente (VOC) y dar respuestas eficaces a las expectativas y necesidades de los clientes durante las fases de diseño y producción. Considerado inicialmente como una forma de análisis de causa y efecto, el QFD es una herramienta esencial no sólo para la gestión de la calidad, sino también para la planificación. (Safety Culture, 2023)

- **Plan de acción:** Un plan de acción es una herramienta administrativa que establece el camino para conseguir las metas de un negocio. Fija la ruta con una planificación exhaustiva por medio de un listado de actividades con los tiempos y responsables; además, marca el progreso en cada componente. (Rodriguez, 2022)

METODOLOGÍA

El tipo de investigación aplicado fue el de investigación acción, el enfoque escogido fue el mixto. La población estudiada corresponde al área de cortes y terminación de cordones de la empresa Artesanías Zully y la muestra, al lugar de trabajo del área de cortes y terminación de cordones de dicha empresa. Aplicando la técnica de la observación directa.

Instrumentos y procedimientos

Se obtuvieron los datos con el apoyo de herramientas como cuestionarios y formularios como instrumentos de recolección.

Se trabajó en 4 fases, implementando el ciclo PHVA. Aplicando la metodología la segunda quincena del mes de noviembre.

Iniciando con la Fase 1 del trabajo el cual es Planear, se realizó la presentación del proyecto a los directivos de la empresa sobre la implementación de Kaizen como Mejora Continua. Para ello se presentó el Protocolo de Investigación como guía de las actividades y herramientas a ser implementadas.

Se estudió las áreas que requerían de la aplicación de la mejora y una vez identificado el área de proceso, se desarrolló un equipo de trabajo, de acuerdo a un formulario de encuesta para conocer el estado actual del área de trabajo. Ésta encuesta dio una calificación de 41 puntos.

De acuerdo al cuestionario inicial, se pudo observar que existen puntos que son necesarios mejorar

a fin de agilizar el trabajo en el sector. Esos puntos principales fueron: El orden de los materiales a ser utilizados, señalización de los materiales, y delimitación de la misma, así como del área para materiales de limpieza y organización de personal para la limpieza y orden del área.

Al recopilar los datos de producción de cordones para manijas de sillas de hamacas-hamaca cuna, se pudo observar que existen desperdicios de hilos en gran cantidad, clasificados de acuerdo a manija superior o inferior, el cual se puede observar en la tabla de abajo.

Tabla 1: Cantidad y Costo de Desperdicio de Hilos

Cordones	Cantidad de desperdicio p/ unidad (kg)	Costo de desperdicio (gs)
Manija abajo/hamaca silla	0,02	520
Manija arriba/hamaca silla	0,025	650
Manija arriba/hamaca cuna	0,025	650
Manija hamaca cuna	0,03	780

Fuente: Elaboración propia

El precio de los hilos en el mercado equivale a 26.000 Gs, por lo tanto, el costo total representa una pérdida de 2600 Gs por sillas de hamacas-hamaca cuna. Se procedió a tomar registros de la producción de tres quincenas, correspondientes al mes de octubre y noviembre, para demostrar la cantidad de desperdicios y costos de la misma.

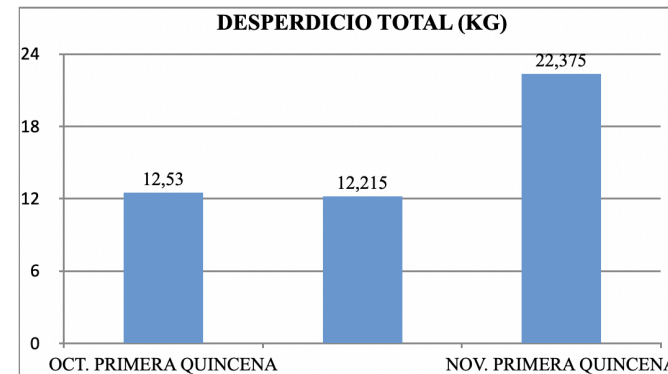
En la primera quincena de octubre se obtuvo 12,53 kg de desperdicio de hilos, equivalente a un costo total de 325.780 Gs.

En la segunda quincena de octubre se obtuvo un total de 12,215 kg de desperdicio equivalente a un costo total de 317.590 Gs.

En cuanto a la primera quincena de noviembre, se obtuvo un total de 22,375 kg., el cual representa un costo total de 581.750 Gs.

En la figura de abajo se observan un resumen general de las tres quincenas correspondientes.

Figura 2: Desperdicio Total de Hilos en Kg



Fuente: Elaboración propia

Para establecer los objetivos de mejora, el equipo de trabajo se encargó de realizar un análisis de causa-raíz, con datos correspondientes a la primera quincena de noviembre.

De acuerdo al análisis de causa-raíz, se pudo observar que existe un desperdicio de 35% del total de producción de cordones-manijas de hamacas cuna y hamacas de sillas, por lo tanto, se establece como objetivo reducir al 15% el desperdicio de hilos.

Posteriormente se realizó el diagrama de Ishikawam, a fin de conocer las causas y los efectos del problema. Respectivamente se procedió a completar 5 porqué's, a fin de examinar las relaciones de causa-raíz. Luego se buscó reducir y/o eliminar la causa raíz identificada mediante una lluvia de ideas.

El siguiente paso realizado fue puntuar la relación de efectos e ideas, para ver el impacto que tienen esto en el producto.

Luego, se procedió a observar el grafico de priorización impacto-tiempo-costos, para ver qué solución empezar a realizar.

En resumen, las herramientas aplicadas hasta este punto, el cual es un formato recopilado y adaptado de capacitación dictada por ONUDI, a través de la transferencia metodológica, Colombia-Paraguay. (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), 2022), definieron que existía un problema de ubicación de maquinarias y deficiencia de las mismas, además de las escasas capacitaciones del personal, por lo que con el equipo de trabajo conformado, se decidió realizar cambios y actualizaciones a fin de solucionar este problema.

Por último, se definió un plan de acción, indicando a los encargados de cada actividad y teniendo un registro de la misma. En donde se concretó como tareas, definir una ubicación fija de las maquinarias, realizar soldadura de los soportes de hilos, capacitaciones del personal, delimitaciones del área de trabajo y etiquetado o nombrado de los materiales utilizados para la producción. Cada una de estas actividades se distribuye a un miembro del equipo.

En la Fase 2, el cual equivale a Hacer, se ejecutan los procesos definidos en la fase anterior.

En la segunda quincena de noviembre se comienza a implementar las posibles soluciones establecidas en las herramientas de formato recopilado de la ONUDI, comenzando por lluvia de ideas y el plan de acción.

En la Fase 3, Verificar, se analizan los resultados luego de la implementación de la mejora continua.

Una vez aplicado la metodología, se verifica los nuevos datos obtenidos y se procedió a demostrar a través de la siguiente tabla.

Tabla 2: Cantidad y Costo de Desperdicio de Hilos Posterior Implementación de Kaizen

Cordones	Cantidad de desperdicio p/ unidad (kg)	Costo de desperdicio (gs)
Manija abajo/hamaca silla	0,005	130
Manija arriba/hamaca silla	0,008	208
Manija arriba/hamaca cuna	0,008	208
Manija hamaca cuna	0,015	390

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, el precio de los hilos en el mercado equivale a 26.000 Gs, por lo tanto, el nuevo costo total una vez aplicado Kaizen es 930 Gs por sillas de hamacas-hamaca cuna.

En la segunda quincena de noviembre se obtuvo un total de 2,788 kg de desperdicio de hilos, equivalente a un costo de 72.488 Gs. Esto representa el 11% de la producción total de cordones-manijas de sillas de hamacas y hamacas cunas.

Se realizó la comprobación de los resultados, realizando una comparación con el dato inicial.

En la Fase 4, Actuar, se revisa el plan propuesto de manera periódica, así también se realizó un nuevo cuestionario final del estado actual del área de trabajo, constatando lo siguiente.

El cuestionario de evaluación inicial del sector de producción de cordones-manijas de hamacas cunas y sillas de hamacas, se comprueba que arrojó un valor de 41 puntos, demostrando varios puntos críticos a mejorar y una vez aplicado la mejora continua en el sector de producción de cordones, se realizó un cuestionario de evaluación final, obteniendo un puntaje de 64 puntos. Realizando la comparativa entre ambos, se pudo observar que se logra la mejora de varios puntos que al inicio eran críticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez finalizada la implementación de la metodología Kaizen como Estrategia de Mejora en una empresa de Artesanía dedicada a la elaboración de sillas de hamacas, hamacas, cortinas y cubrecamas, se presentan los siguientes resultados:

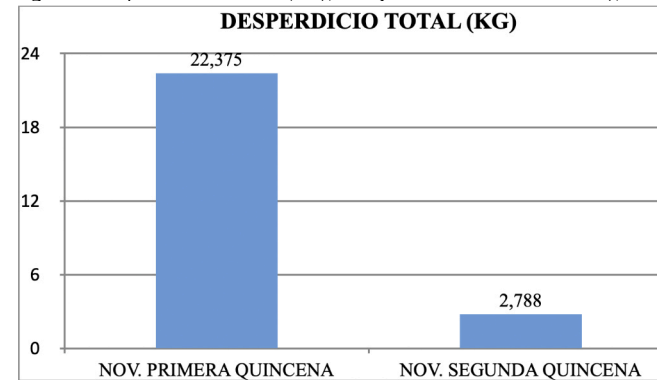
- Se seleccionaron las técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados durante el desarrollo del proyecto, como es el caso de formularios, cuestionarios, gráfico de barras, y herramientas con formato recopilado y adaptado de capacitación dictada por ONUDI.
- Se establecieron los pasos a seguir, dividiendo en 4 fases de acuerdo al Ciclo de Deming.
- Se estableció un equipo de trabajo para la implementación de la metodología Kaizen.
- Se realizó el diagnóstico inicial mediante el Cuestionario de Evaluación, en donde se indicó los puntos más críticos a mejorar en el sector de producción.
- Se realizó la recopilación de datos de tres quincenas, analizando los gráficos de barras, en la primera quincena de octubre se obtuvo 12,53 kg de hilos desperdiciados, el cual equivale a 325.780 Gs. En la segunda quincena de octubre se obtuvo 12,215 kg, con un valor de 317.590 Gs. Y en la primera quincena de noviembre, en total 22,375 kg de hilos desperdiciados, equivalente a 581.750 Gs.
- Se optó por tomar los datos de la primera quincena de noviembre, a fin de facilitar la medida de los resultados obtenidos con la segunda quincena del mismo mes, en el cuál fue implementado la metodología de Kaizen. Una vez realizada el análisis de causa- raíz se pudo constatar que existía un desperdicio del 35% de la producción total de cordones-manijas en esta primera quincena.
- Se implementa un plan de acción, a fin de reducir la cantidad de hilos desperdiciados en la producción de cordones-manijas. Fijando como objetivo reducir al 15% de la producción total.
- Durante una semana (5 días hábiles) se pudo llevar a cabo la implementación del plan de acción,

notándose una mejoría en la producción de cordones-manijas.

- Una vez registrado la producción de la segunda quincena de noviembre, se procedió al análisis de resultados tanto en desperdicio en kg como el costo en guaraníes, obteniendo un resultado de 2,788 kg de desperdicio de hilos, equivalentes a 72,488 Gs. Representado el 11% de producción total de cordones-manijas.

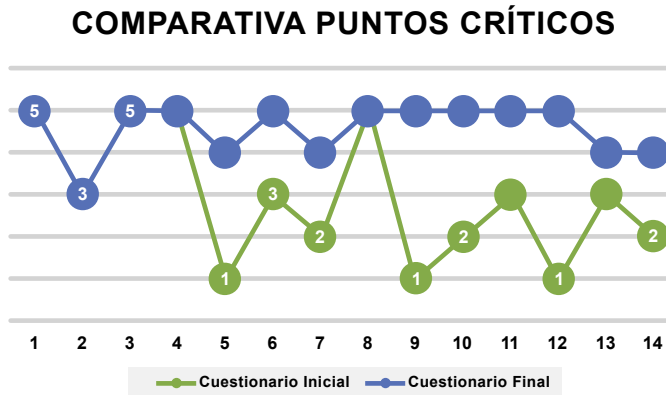
Por lo tanto, realizando un resumen de las dos quincenas de noviembre se obtuvo el siguiente gráfico.

Figura 3: Desperdicio de Primera y Segunda Quincena de Noviembre en Kg.



- El objetivo inicial del evento Kaizen era reducir el desperdicio al 15% del total de producción de cordones-manijas, no obstante, una vez concluido la aplicación de la metodología, se pudo constatar que se redujo hasta el 11% del total, concluyendo satisfactoriamente el objetivo principal.
- Se realizó un cuestionario de diagnóstico final al sector de producción de cordones-manijas, concluyendo satisfactoriamente gran parte de los puntos críticos analizados inicialmente. En la figura de abajo, podemos observar la comparativa entre ambas evaluaciones.

Figura 4: Puntos Críticos de Cuestionario Inicial y Cuestionario Final



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se pudo constatar que la implementación de la metodología Kaizen como estrategia de mejora en una empresa de artesanía dedicada a la elaboración de sillas de hamacas optimiza la producción de cordones-manijas. Además de que se pudo presentar el área de trabajo en mejores condiciones y a la vez concientizar a los trabajadores de mantener el sector limpio y ordenado, a fin de evitar inconvenientes que puedan representar una pérdida para la producción y la empresa.

CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos tras la Implementación de la Metodología Kaizen en la Empresa de tejidos “Artesanía Zully” se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El presente trabajo constituyó el primero en ser realizado en la empresa de artesanía. También es el primero en ser llevado a cabo en la ciudad de San Miguel, departamento de Misiones.
- Se efectuó el diagnóstico de la situación inicial de la empresa valiéndose para ello del Cuestionario de Evaluación Inicial, arrojando como resultado los puntos más críticos a mejorar.
- Mediante la implementación de la metodología Kaizen, como mejora continua en la producción de

cordones-manijas de hamacas cuna y sillas de hamacas, se consiguió la reducción de desperdicio de hilos al 69% con respecto al diagnóstico inicial.

- Se logró identificar áreas que requerían la implementación de mejoras a corto plazo, los cuales se pudieron solucionar de manera efectiva.
- Al finalizar la implementación de la metodología, se realizó nuevamente el diagnóstico de la situación final de la empresa mediante un Cuestionario de Evaluación Final, obteniendo como resultado una mejora significativa en los puntos críticos hallados en la evaluación inicial.
- La realización e implementación de la metodología Kaizen como mejora continua pudo optimizar la producción de cordones-manijas de las sillas de hamacas y hamacas cuna, y esto se pudo lograr mediante el compromiso de cada miembro del equipo conformado, concluyendo así satisfactoriamente el proyecto de investigación.

REFERENCIAS

- Alanya Espinoza, R. M. (2022). Propuesta de mejora continua mediante la metodología kaizen para mejorar la productividad en una empresa panificadora, Lima 2022 [Universidad Norbert Wiener]. https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/6616/T061_71335077_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Armas Sairitupac, L. M. (2018). Aplicación del Kaizen para incrementar la productividad del área de ventas en la empresa Librería- Bazar Don Pablo Choque E.I.R.L. Chorrillos, 2018 [Universidad César Vallejos]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/37078/Armas_SLM-SD.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Asturias Corporación Universitaria. (n.d.). La Mejora Continua. https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/aseguramiento_calidad/unidad1_pdf2.pdf
- Atehortua Tapias, Y. A. (2010). Estudio y aplicación del Kaizen [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/472b205c-dc68-48c3-8623-c6a462dd2ef8/content>

- Atehortua Tapias, Y. A., & Restrepo Correa, J. H. (2010). Kaizen: un caso de estudio. *Scientia Et Technica*, 16(45), 59–64. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917249011.pdf>
- Burbano Pasaje, E. S., & Torres Román, C. G. (2020). Diseño de un modelo de gestión Lean Manufacturing empleando la herramienta Kaizen en el área de producción de la empresa “aplanchados doña chepa”. [Fundación Universitaria de Popayán]. <http://univida.fup.edu.co/repositorio/files/original/b46d5a3a6c53f36c29168deee6a1e1ac.pdf>
- Castellanos Martel, I. A. (2018). El ciclo deming para mejorar la productividad en los procesos de una empresa textil [Escuela Profesional de Ingeniería Industrial]. In Universidad Peruana Los Andes. [http://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/UPLA/962/Castellanos Martel%20 Ivan Alex.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/UPLA/962/Castellanos%20Ivan%20Alex.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gomez Bravo, L. (1991). Mejoramiento continuo de calidad y productividad: Técnicas y herramientas. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/865>
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2009). Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma (McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. (ed.); Segunda). <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>
- Jimenez, D. (2013). El análisis Es-No es, un básico para encontrar la causa raíz de NC's. *Pymes y Calidad 2.0*. <https://www.pymesycalidad20.com/el-analisis-es-no-es-encontrar-la-causa-raiz-ncs.html>
- Málaga Izquierdo, J. J. (2020). Implementación de metodología Kaizen para la mejora de procesos en la empresa Mat Service Lift Truck E.I.R.L [Universidad Privada del Norte]. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25120/Málaga Izquierdo%2C Juan José.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25120/Málaga%20Izquierdo%20Juan%20José.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2022). Metodología ONUDI. https://hub.unido.org/sites/default/files/publications/es_Kaizen_Digital.pdf
- Rodrigues, N. (2022). Qué es un plan de acción, cómo se elabora y ejemplos. Hubspot. <https://blog.hubspot.es/sales/plan-de-accion-empresa>
- Rodriguez, J. (2023). 5 porqués: definición, aplicación y ejemplos. Hubspot. <https://blog.hubspot.es/sales/5-porques>
- Safety Culture. (2023). Comprender la implantación de la función de calidad (QFD). <https://safetyculture.com/es/temas/qfd/#:~:text=¿Qué es el QFD%3F,fases de diseño y producción.>
- Vargas Crisóstomo, E. L., & Camero Jiménez, J. W. (2021). Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera. *Industrial Data*, 24(2), 249–271. <https://doi.org/10.15381/idata.v24i2.19485>

Implementación de la Metodología Lean Manufacturing para Optimización de la Producción de Envases de Papel

Implementation of Lean Manufacturing Methodology for Optimizing Paper Packaging Production

Daisy Diana Ramírez Génez

daisy.ram48@gmail.com
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

Edith Vázquez Achar

edith.vazquez@uc.edu.py
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

RESUMEN

La investigación tiene como propósito informar acerca de la implementación de la metodología Lean Manufacturing en una industria de envases de papel para optimizar los procesos de producción de la empresa, dado que la metodología tiene como finalidad disminuir los costos y a través de ello aumentar la competitividad en el mercado. Al adaptarse a la competencia y al mercado, Lean Manufacturing brinda acceso a mejores estrategias de productividad y desempeño. Se consiguió implementar 5 herramientas de la metodología Lean Manufacturing en las diferentes áreas de producción de la empresa, las herramientas que fueron implementadas en la industria Envases S.A., ubicada en la ciudad de Mbocayaty, son las siguientes: 5S, TPM, Kanban, Kaizen, Poka Yoke, la implementación logró un impacto positivo en la producción de envases de papel.

Palabras claves: Lean Manufacturing, mejora continua, envases de papel, optimización de la producción.

INTRODUCCIÓN

La metodología Lean Manufacturing afecta la sobreproducción, la espera, el inventario, transporte, defectos, desperdicios tecnológicos, deslocalizaciones innecesarias y subutilización del potencial de los

empleados. La presente investigación se enfoca en la empresa Envases S.A., dedicada a la fabricación de envases de papel para alimentos y productos de uso general. Esta industria produce envases de entre 250 gr y 5 kg para productos como harina, almidón, yerba mate y carbón, donde la eficiencia, la seguridad alimentaria y el cuidado ambiental son fundamentales. El objetivo del estudio es evaluar los procesos de producción de Envases S.A., identificar las herramientas Lean más adecuadas, implementarlas y analizar su impacto en la eficiencia operativa.

MATERIALES Y MÉTODO

El tipo de investigación fue investigación-acción. La investigación tuvo un enfoque mixto de tipo participativo dado que se centró en comprender los procesos de producción.

La población incluyó las áreas de depósito de materia prima y producción de la empresa, con un total de 7 operarios y 2 jefas de producción de la industria Envases S.A. La fase de diagnóstico implicó una evaluación detallada del estado actual de los procesos y operaciones de la planta.

La fase de recolección de datos se llevó a cabo durante los primeros 15 días, realizando observaciones,

nota de campo y cuestionarios a los operarios y jefas de producción de las distintas áreas. Posteriormente, los procesos de producción se representaron a través del diagrama de proceso según Simbología ANSI. Los cuestionarios a jefas y operarios, las observaciones y nota de campo representaron el punto de partida en esta investigación.

La implementación del Kaizen estuvo compuesto por varias herramientas que conllevaron a la calidad mejorada y a la mayor productividad.

El diagrama de Ishikawa, el 5 Porqués y Lluvia de ideas, fueron utilizados para analizar las características de un proceso o situación, llegando así a la identificación de las causas y posteriormente generar ideas para eliminar las causas raíz identificadas. Este método permitió obtener una visión más clara y ordenada en términos de las 6M, asimismo, permitió llegar a la raíz de las fallas.

Posterior al diagrama de Ishikawa, se procedió a realizar la técnica de los 5 porqués. Este método consistió en preguntar 5 veces por qué el fallo ocurrido con el fin de obtener las causas raíz del problema. La herramienta conocida como lluvia de ideas, implementada para llegar a la causa raíz de las incidencias de la industria Envases S.A., la lluvia de ideas consistió en una actividad creativa que ayudó a generar un buen número de soluciones potenciales al problema. Dado que la idea fue generar posibles soluciones para eliminar la causa raíz del problema. Además del Kaizen, las herramientas de la metodología Lean Manufacturing que mejor se adaptaron a los tipos de falencias encontradas fueron: TPM, 5S, Kanban, Poka Yoke, estas herramientas fueron seleccionadas posterior a la realización de lluvia de ideas-Kaizen. Las áreas de la industria Envases S.A., se encontraron bastante desordenadas, especialmente los depósitos y áreas alrededores de las maquinarias. En el lugar de trabajo se encontraron acumulación de objetos, herramientas, sillas redundantes que no se usan en el área y que

pueden ocasionar cualquier tipo de accidente en el área de trabajo como también, esto puede retrasar a los operarios a la hora de hacer sus quehaceres, afectando directamente los tiempos de producción que, por ende, aumenta los costos de producción. A través de la implementación de la metodología 5S, orden y limpieza, se procedió a descartar todos los materiales redundantes en las áreas, se colocaron contenedores de residuos en estas áreas. Asimismo, se colocaron carteles de señalización en todas las áreas con el objetivo de despertar conciencia en todos los operarios de la industria Envases S.A.

La estandarización define dónde se ubican los objetos y dónde se deben realizar los trabajos, particularmente la limpieza e inspección, tanto de los objetos fijos (maquinaria y equipo) como de los móviles (por ejemplo, lo que se recibe de los proveedores). Teniendo en cuenta los diferentes tipos de riegos en los que están expuestos los operarios, se llevó a cabo la colocación de señalizaciones en todas las áreas de producción de la industria, los cuales, proporcionaron mensajes claros a los operarios sobre instrucciones de trabajo, advertencias y otras informaciones relacionadas con las regulaciones, al mismo tiempo, ayudaron a hacer cumplir las normas y reglamentos de seguridad, es decir, indicaron cuales actividades no se debían realizar dentro de la planta, de esta manera, se evitó cualquier tipo de inconvenientes entre los operarios y jefes de la empresa. Debido a quejas recibidas por parte de los clientes acerca de problemas de calidad de los envases que presentaban ciertos desperfectos los cuales no fueron aceptados por los clientes, se implementó el control de calidad al azar de productos terminados. Se llevó a cabo la implementación de control de calidad al azar mediante una planilla, en el que el inspector encargado de la inspección debe registrar el lote del producto terminado, el cliente, se debe especificar la medida del envase y la calidad del acabado según criterio a través de la visualización y, por último, se debe registrar el resultado de la inspección. Asimismo, se implementaron planillas para el control periódico de los extintores de todas las áreas de la industria dado que es importante

mantener en condiciones óptimas en caso de alguna emergencia. La delimitación de pavimentos utilizando un código de color estándar en las industrias ayudan a construir y mantener un ambiente más organizado y eficiente. Con el objetivo de evitar errores en la limpieza y depósito de los desechos, se implementaron señalizaciones de ayuda visuales que detallaban la categoría de residuos adecuados para cada contenedor. La industria Envases S.A., carecía de una misión y visión definida, las cuales se desarrollaron después de un análisis exhaustivo de la empresa con la cooperación del gerente de la empresa y las jefas de producción, registrando todo en una nota de campo.

Con los sistemas Poka Yoke, no se permiten errores en la línea de producción. Por lo tanto, la calidad será mayor y se reelaborará menos, para lo que resulta en una mayor satisfacción del cliente y menores costos generales.

En la industria Envases S.A., las formateadoras e impresoras utilizan diferentes tipos y tamaños de cilindros, estos son seleccionados de acuerdo con la medida de envase de papel a fabricar, con el objetivo de evitar errores humanos al colocar los cilindros a las bobinas, se implementaron carteles que especifican las características de cada cilindro.

El TPM (Mantenimiento total del producto) fue otra de las herramientas de la metodología Lean Manufacturing que se implementaron. Dado que la industria no contaba con un plan de mantenimiento claro y específico, se elaboró un nuevo plan con el objetivo de facilitar un trabajo de mantenimiento más eficiente y evitar cualquier tipo de problema estableciendo plazos y procedimientos detallados. Se procedió a reordenar y formular una planilla para los mantenimientos de las máquinas, teniendo en cuenta los mantenimientos semanal, quincenal, mensual y anual. El nuevo plan de mantenimiento se elaboró con el Software Excel, para todos los meses del año 2024.

Este instrumento permitió una rápida y eficiente planificación detallada de los mantenimientos a realizar semanal, quincenal, mensual y anualmente al mismo tiempo permite una organización eficiente. Así mismo, se implementaron fichas de mantenimiento impresas como soporte, estas fichas serán recogidas y archivadas en carpeta con el propósito de crear una fuente de información, dado que las decisiones tomadas y ejecutadas son importantes de archivar ya que en el futuro servirá como dato histórico para la empresa y al mismo tiempo, facilitarán otras actividades.

A raíz de que los operarios y jefas de las áreas expresaron que existían problemas en el control de productos en stock, se introdujo la metodología Kanban, parte de las herramientas de la metodología Lean Manufacturing, con el objetivo de facilitar el control de inventarios. Esta herramienta consistió en colocar un tablero en el mejor lugar donde todos puedan ver, en este tablero se planificaron las tareas y al mismo tiempo se analizó el avance de estas. Estas 5 fueron las herramientas de la metodología Lean Manufacturing aplicadas en la industria Envases S.A. Luego de ultimar detalles de la implementación se procedió a realizar charlas con las jefas de áreas de formateadora e impresión. En la dispositiva se presentaron informaciones variadas como la importancia de mantener hábitos de limpieza en la industria, condiciones adecuadas del trabajo, la importancia de la disciplina y sobre todo la de reconocer el talento y logro de los operarios, por otro lado, se trató sobre la trascendencia de usar los equipos de protección personal, como los tapones auditivos seminaturales, uso adecuado del casco en la industria y la importancia que desempeña la ropa de trabajo y los calzados con punta de protección. El objetivo fue promover una cultura de mejora continua y al mismo tiempo fomentar la cooperación en la implementación de las mejor Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron materiales físicos y digitales que facilitaron el diagnóstico, análisis, intervención y seguimiento de las mejoras implementadas en la industria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la fase de determinación del estado de la empresa se obtuvieron resultados favorables, dado que las encargadas de producción y gerente de la empresa colaboraron de manera exhaustiva, de esta forma obteniendo una visión completa y realista de la situación de la industria. Además, esta exhaustiva colaboración ha contribuido con éxito concienciar sobre la necesidad del cambio.

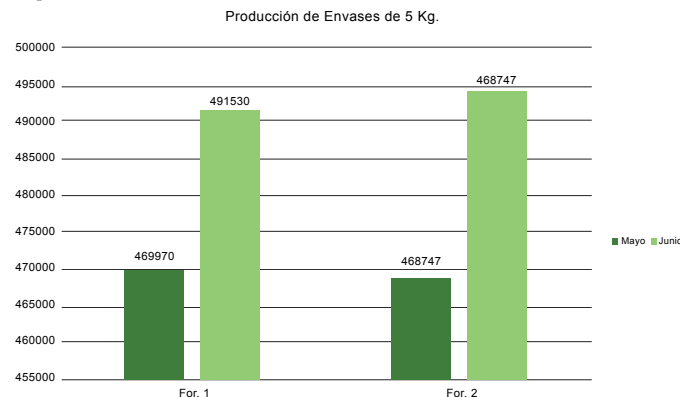
Las herramientas que se utilizaron para llevar a cabo la investigación fueron las siguientes: Kanban, como punto de partida para abordar las falencias encontradas, 5S, orden, limpieza y estandarización en las áreas más críticas, TPM, elaboración de ficha técnica, planillas para los diferentes tipos de mantenimiento productivo total, Kanban, para una mejor organización de los miembros de la empresa, Poka Yoke, con el objetivo de evitar cualquier tipo de error humano o pérdida de tiempo, de esta forma, se logró optimizar los procesos productivos en la industria Envases S.A.

Para obtener una idea más sencilla del rendimiento de las herramientas, a continuación, se presentan los resultados utilizando el programa Excel, se aplicaron gráficos de columnas agrupadas y tablas para mostrar la diferencia entre el antes y después de la implementación de la metodología Lean Manufacturing en la industria Envases S.A, las herramientas de la metodología que fueron aplicadas son: Kaizen, 5S, TPM, Kanban, Poka Yoke, estas tablas y columnas permitieron comparar los valores de producción de envases de papel de 5 Kg y 1 Kg entre los meses de mayo y junio-julio, respectivamente, estos datos de producción fueron tomados como dato histórico de la empresa. Mes Mayo. Asimismo, se presenta a continuación la producción de envases de 5 Kg obtenida después de la implementación de la metodología Lean Manufacturing.

Tabla 6
Tabla de producción de envases de pel de 5 kg. Junio-Julio

Días	Cantidad-Formateadora 1	Cantidad-Formateadora 2
Día 3	22843	23673
Día 4	23096	23294
Día 5	23442	23747
Día 5	23981	23811
Día 7	22987	23425
Día 10	23654	23911
Día 11	24007	24052
Día 12	22832	22889
Día 13	23327	23601
Día 14	23798	23386
Día 17	23235	23548
Día 18	23504	23973
Día 19	23986	22905
Día 20	24112	23724
Día 21	22941	23015
Día 24	23172	23861
Día 25	23599	24057
Día 26	23879	23682
Día 27	23102	23249
Día 29	24015	22838
Día 29	22018	23506
TOTAL	491530	494147

Figura 11 Representación gráfica de la producción antes y después de la implementación



Las formateadoras de envases de 5 Kg tienen la capacidad de producir 25.000 envases por día, en la Tabla 10 se observa la producción de envases de papel de 5 Kg durante mayo del 2024, asimismo, en la Tabla 6 se puede observar un avance significativo después de la implementación, las herramientas de la metodología Lean Manufacturing tuvieron un impacto significativo en cuanto a la producción y la eficiencia, dado que a través de las mejoras se logró optimizar la producción de envases.

Tabla 10

Tabla de producción de envases de papel de 5Kg-Mayo

Días	Cantidad-Form. 1	Cantidad-Form. 2
Día 1	22489	22194
Día 2	22125	22579
Día 3	22746	22965
Día 6	19087	22342
Día 7	22177	22726
Día 8	22534	22508
Día 9	22534	22681
Día 10	22943	22147
Día 13	22205	22698
Día 14	22869	22835
Día 15	22421	22362
Día 16	22688	22521
Día 17	22374	22773
Día 20	22593	22185
Día 21	22126	22943
Día 22	22817	22409
Día 23	22382	22574
Día 24	22954	22618
Día 27	22456	22386
Día 28	22637	17460
Día 29	22813	22841
TOTAL	469970	468747

Las formateadoras de envases de papel para 1 Kg presentan una capacidad de producción de 50.000 envases por día. La Tabla 11 corresponde a la producción del mes de mayo, también se tomó como dato histórico

de la empresa para comparar con la Tabla 7, correspondiente a la producción después de la implementación de las herramientas de la metodología. Tabla 11 corresponde a la producción antes de la implementación.

Tabla 11

Tabla de producción de envases de papel de 1 Kg-Mayo

Días	Cantidad-Form. 1	Cantidad-Form. 2	Cantidad-Form. 3
Día 1	45321	45276	42456
Día 2	44589	44654	44832
Día 3	45976	45876	41567
Día 6	44432	45012	44987
Día 7	45567	45432	41200
Día 8	44804	44632	45567
Día 9	44678	45134	44954
Día 10	45409	44789	45678
Día 13	44791	45321	44789
Día 14	45123	44567	43200
Día 15	44455	45876	44432
Día 16	45234	45209	45598
Día 17	44892	45987	45321
Día 20	45698	45678	44765
Día 21	44987	45456	45409
Día 22	45543	44832	44900
Día 23	44765	44765	42450
Día 24	45098	44987	44654
Día 27	44467	44876	45234
Día 28	45789	45209	45234
Día 29	44543	44678	44789
TOTAL	946161	948246	932016

Tabla 11

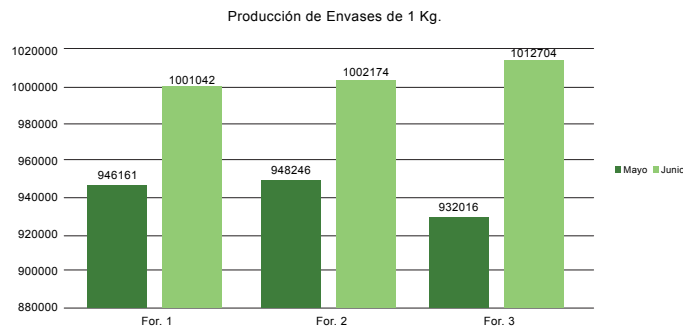
Tabla de producción de envases de papel de 1 Kg. Junio-Julio

Días	Cantidad Form. 1	Cantidad Form. 2	Cantidad Form. 3
Día 24	47654	47432	43376
Día 25	47921	48876	44792
Día 26	46589	47543	46105
Día 27	48123	46234	48433
Día 28	46876	48123	49214
Día 1	47345	47765	48987
Día 2	46987	47234	48259

Día 3	48234	48900	48645
Día 4	47765	47876	49021
Día 5	47098	48321	49456
Día 8	48765	47654	48237
Día 9	47876	47098	48876
Día 10	47234	48765	49322
Día 11	48456	48456	48198
Día 12	46678	47123	48567
Día 15	48321	46678	49098
Día 16	47123	48567	49234
Día 17	48567	47432	48765
Día 18	46789	46987	48342
Día 19	48654	46234	49123
Día 22	47987	48876	48654
TOTAL	1001042	1002174	1012704

El gráfico de columnas agrupadas indica un incremento en la producción de 5,5% en la formateadora 1, en la formateadora 2, 5,4% y en la formateadora 3, 8% luego de la implementación de las herramientas, reuniendo de esta forma un incremento significativo en la producción de envases de papel, estos resultados reflejan el impacto positivo de la implementación del Lean Manufacturing en los procesos productivos de envases de papel.

Figura 12 Representación gráfica de la producción



En el área de producción, se produce el mayor desperdicio de tiempo, el cual mejoró con la implementación de las herramientas de la metodología

Lean Manufacturing, mejorando la productividad en las formateadoras, en un 4,8% para la presentación de 1 Kg logrando realizar el trabajo que normalmente se hacía en 21 días en 14,5 días representando un ahorro de 7,5 días en mano de obra para la empresa asimismo, se logró mejorar la productividad de las líneas de presentación de 5 Kg de 21 días a 20,1 jornales, ahorrando 8,8 horas de mano de obra a la industria Envases S.A.

A continuación, en la Tabla 8 se presenta el Impacto de la implementación Lean

Tabla 8

Impacto de la implementación de la metodología Lean Manufacturing

Presentación	Mayo (U.P)	Junio-Julio (U.P)	% de mejora	Días de ahorro en mano de obra
Paquete de 5 Kg	938717	985667	4,8	0,939

A continuación, en la Tabla 9 se presenta el Impacto de la implementación Lean Manufacturing.

Tabla 9

Impacto de la implementación de la metodología Lean Manufacturing

Presentación	Mayo (U.P)	Junio-Julio (U.P)	% de mejora	Días de ahorro en mano de obra
Paquete de 1 Kg	2826423	3015920	6	7,5

Figura 13 Representación gráfica de ahorro de mano de obra en días-Envases de 1 Kg

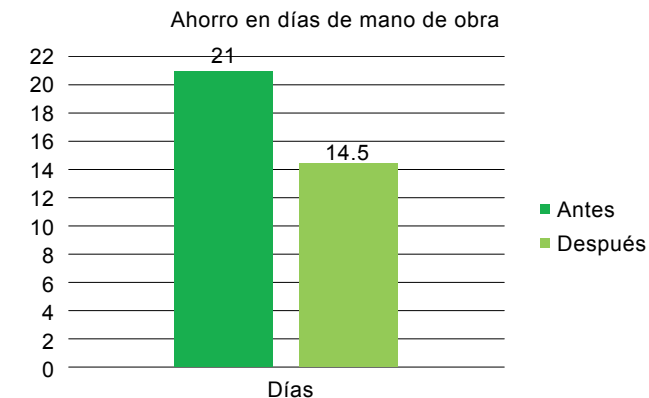


Figura 14 Representación gráfica de ahorro de mano de obra en días-Envases de 5 Kg



CONCLUSIÓN

La organización de la industria Envases S.A. logró poner en práctica la implementación de la metodología Lean Manufacturing en todas las áreas de producción de la empresa y, a través de ello se obtuvieron resultados significativos. Teniendo en cuenta los objetivos específicos de la investigación, a continuación se presentan las siguientes conclusiones: Teniendo en cuenta el primer objetivo específico “Evaluar el proceso de producción actual para identificar áreas de desperdicio y oportunidades de mejora”, se concluye que las principales causas del desperdicio de tiempo en la producción se debían a lo expuesto en la Tabla 2, los cuales fueron trabajados mediante las herramientas de la metodología Lean Manufacturing.

Tabla 2 Análisis de las falencias en la industria S.A.

Causas	Frecuencia
Falta de orden y limpieza	24
Ausencia de un plan de mantenimiento claro y específico	20
Problemas de calidad	19
Mala selección de cilindros	17
Falta de delimitación de pavimento	8
Falta de definición de los estados de la producción	6
Falta de control sobre los extintores	4

Luego de la primera etapa, se llevó a cabo con éxito el segundo objetivo específico “Identificar las herramientas de la metodología Lean Manufacturing que se adapten mejor al tipo de falencias encontradas”.

Dado que a través de la implementación de los cuestionarios y de las herramientas de la metodología Kaizen se realizó un relevamiento de las informaciones necesarias logrando identificar las oportunidades de mejoras en el área de producción, asimismo, Kaizen permitió determinar cuáles herramientas de la metodología son los mejores, teniendo en cuenta las causas de pérdidas de tiempos encontradas en el sector productivo. Posteriormente, se ejecutó el tercer objetivo “Aplicar las herramientas con el fin de controlar la producción y mejorar los procesos mediante la organización productiva” a través de un plan de acción, las herramientas que fueron seleccionadas para las deficiencias identificadas son las siguientes: 5S, debido a que en las áreas de producción existían objetos redundantes, falta de limpieza y orden. Asimismo, se implementó la estandarización para mejor organización en todos los sectores de producción de envases. Por otro lado, debido a la mala organización del plan de mantenimiento, se implementó la herramienta TPM a través de planillas y fichas de mantenimiento semanal,

mensual y anual con el objetivo de crear una fuente de información que servirá como dato histórico para la industria. Debido a que los operarios agarraban el cilindro equivocado, se implementó la metodología Poka Yoke, se colocó carteles de identificación a todos los cilindros con el fin de evitar errores humanos. Por último, se implementó la metodología Kanban debido a que existía una mala organización en cuanto a la producción, gracias a esta implementación los operarios pudieron ver en el tablero qué tipo y qué cantidad de envases debían fabricar en el día.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia de Ciencias y Tecnología por la Excelente formación que me han brindado todo este tiempo. A mi tutora Edith Vázquez por su constante apoyo en todo momento y por brindarme su valioso conocimiento lo cual ha sido fundamental para poder llevar a cabo este proyecto. A la empresa Envases S.A., por abrirme la puerta para poder llevar a cabo la implementación. A Alejandra, Nilda y Liliana, encargadas de producción de la industria Envases S.A., por su invaluable acompañamiento y por brindarme todos los datos necesarios para poder culminar con éxito.

REFERENCIAS

- Alcaraz, J. L. G. (2011). Factores relacionados con el éxito del mantenimiento productivo total. *Revista Facultad de Ingeniería*, (60), 129–140.
- AR Racking. (2023). Método Just in Time en almacén: qué es, ventajas y cómo se aplica. <https://www.ar-racking.com/pe/blog/metodo-just-in-time-en-almacen-que-es-ventajas-y-como-se-aplica/>
- Canahua Apaza, N. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Industrial Data*, 24(1), 49–76.
- Concientizar y sensibilizar en prevención de riesgos - SIMEON: Software para Seguridad y Salud en el Trabajo | SIMEON: Seguridad y Salud Laboral integrada con Tecnología. (n.d.). <https://simeon.com.co/item/33-concientizar-y-sensibilizaren-prevencion-de-riesgos.html>

- D'Souza, R. S., Bhat, K. G., Sailaja, D., & Joshi, V. (2016). Indirect immunofluorescence technique to study expression of toll-like receptor 4 in chronic periodontitis. *Indian Journal of Dental Research*, 27(3), 283–287. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.186230>
- De, E., Manufacturing, L., & Bío-bío, U. D. E. L. (2020). Profesor Guía: Felipe Andrés Sandoval Torres. March.
- Garcia, M. A., Angulo, P. S., Martin, J. J., & Melero, J. G. (2012). Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED. *Técnica Industrial*, 298, 46–54.
- Huayta, G., & Llerena, L. (2021). Análisis de la herramienta VSM (Mapa de Valor) de la metodología Lean Manufacturing, aplicada al sector textil, Arequipa 2019. 1–47
- ING., E. A. L. A. (2009). "El Mantenimiento Productivo Total TPM Y La Importancia Del Recurso Humano Para Su Exitosa Implementación". *Andrew's Disease of the Skin Clinical Dermatology*, 136

Mejora en Control y Registro de Sistema de Gestión en Empresa Automotriz

Improvement in Control and Registration of Management System in Automotive Company

Israel Andrés Talavera Lezcano

24talavera.israel99@gmail.com
Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

Licia López de Bogado

licia.lopez@uc.edu.py
Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

RESUMEN

Este estudio presenta el diseño e implementación de procedimientos y documentación basados en las metodologías Total Productive Maintenance (TPM), 5S, 3Jeong y los requisitos de la norma ISO 9001:2015 en una planta ensambladora de motocicletas ubicada en Luque, Paraguay. El objetivo fue optimizar la gestión de la información de producción y los registros administrativos para facilitar la detección de fallas, no conformidades y oportunidades de mejora.

Los resultados incluyen: rediseño de formatos de control de calidad que aumentan la precisión en la detección de defectos; creación de un registro de unidades reparadas y fallas recurrentes con base de datos electrónica; implementación de medios visuales en estaciones de trabajo para guiar procesos críticos; y formalización de flujogramas de procedimientos en toda la planta. Estas acciones permitieron alinear la gestión interna con los estándares ISO, reducir tiempos de respuesta ante no conformidades y generar una base documental para la mejora continua.

Palabras clave: Gestión de calidad, TPM, ISO 9001, 5S, mejora continua

INTRODUCCIÓN

La empresa automotriz objeto de estudio experimentó cambios organizativos que dejaron obsoletos varios procedimientos de gestión, afectando el flujo de información y la trazabilidad de la producción. Dada la relevancia de la motocicleta como medio de transporte en Paraguay, se planteó la necesidad de un sistema de gestión robusto conforme a ISO 9001:2015 y sustentado en filosofía TPM para asegurar calidad, eficiencia y mejora continua.

MARCO TEÓRICO

Total Productive Maintenance (TPM).

El TPM se define como un proceso integral de conservación de la producción que involucra a todos los empleados para lograr "cero fallas, cero defectos y cero accidentes". Su meta es maximizar la eficiencia de las instalaciones a lo largo de su vida útil, abarcando desde la planificación y uso hasta el mantenimiento preventivo. En el sector productivo, el TPM se impulsa mediante actividades estandarizadas y trabajo en pequeños grupos, desde la alta gerencia hasta los operarios.

Esquema 3Jeong y 5S.

El principio 3Jeong exige que cada objeto tenga una ubicación genuina, cuantitativa y adecuada, asegurando orden y eficiencia. Por su parte, el método

Figura 3 – Informe de No Conformidad

LOGO DE EMPRESA				INFORME DE NO CONFORMIDAD			
ORIGEN DE LA NO CONFORMIDAD							
Proveedor	Procesos	SGC	Cliente				
COMPLETAR EN CASO DE PROVEEDORES:							
Proveedor:		Código:					
		Modelo:					
Descripción del Material:							
Lote:		Cant. Rechazada:		N° Remito:		Fecha:	
COMPLETAR EN CUALQUIER OTRO CASO							
Proceso:		Descripción:					
Lote:		Cantidad:					
Observaciones:							
Descripción de la Falla:							
Que?:							
Como?:							
Cuando?:							
Donde?:							
Cuanto?:							
Quién?:							
Detectada por		Firma				Fecha	
Comentarios de Calidad:							
Apto		No Apto		Intervino		Firma	
Resolución						Firma	
Corrección:		Retrabajo		Rechazo			

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basados en algunos de los problemas mencionados en el diagnóstico de procesos se determinaron como puntos débiles

Registro de calidad desfasado

Área: Control de calidad de línea, control de calidad final, taller y auditoría

Encargado del área: Líder de calidad

No conformidad detectada:

Bajo señalamiento del líder de calidad, se identifican ausencias de puntos de control en la planilla de control de calidad individual de cada motocicleta, generando un registro sin tanta exactitud como se desea incumpliendo el punto 8.1 de planificación y control operacional de la norma ISO 9001, que declara que deben ser formalmente establecidos todos los criterios relevantes en la determinación de calidad.

Solución: Modificación del formato de la planilla para inclusión de los datos solicitados.

Figura 4 – Formato de ficha de calidad nueva

LOGO DE EMPRESA		Formulario de Control de Calidad						Codigo: _____ Unidad: _____ Versión: _____ Vigencia: _____		
MARCA:		MODELO:		VIN:						
COLOR:		CILINDRADA:		NRO. MOTOR:						
NOVALES VIE	Criterio de control		OK	NOK	REP	Observación		OK	NOK	REP
	AGARRADERAS (IZQ Y DER)					MANIVELA EMBRAGUE, FRENO				
	ALINEACION GUARDA BARRIO					MANIVELA IZQ/DER				
	AMORT DEL /TRA					MANIBRIO/SOPORTES				
	ASIENTO/TRABA/TUERCA					MAZO DE CABLES				
	CABALLETE					NIVEL DE ACEITE				
	CABLE POSITIVO Y NEGATIVO					OJO DE GATO				
	CABO CEBADOR/EMBRAGUE/ACEL					P. CHAPA/P. BULITO/P.BATERIA				
	CALCOMANIAS					PEDAL DE CAMBIO/ARRANQUE/FRENO				
	CARPASA FARO TABLERO					PORTA CASCO				
	CARENADO					POSAPES CENTRAL/GOMAS/PATITA				
	DETALLES MOTOR					SEÑALEROS DEL /TRA IZQ/DER				
	EJE DEL /TRA					TAPA FRONTAL				
	ESCAPE DECORATIVO Y TUERCAS					TAPA PINON				
	FRENO DELANTERO, DISCO/PANEL					TENSION DE CADENA				
	FRENO TRASERO PANEL					TORNILLO CARRIBADOR				
	GUARDA CADENA					TRABA CUELLO				
	HORQUILLA					TUERCA CIEGA Y STEY				
	LLAVES Y CERRADURAS EN GRAL					PUERTO USE				
	MANDIL CENTRAL					VERIFICACION CHASIS				
MANGUERA Y FILTRO COMBUS					VERIFICACION TORQUE					
VERIF. ACCESORIOS DE ACTIVACION										
OBSERVACIONES										
OPERARIO 1:						FECHA: HORA:				
OPERARIO 2:						FECHA: HORA:				
NOVALES VIE	Criterio de control		OK	NOK	REP	Observación		OK	NOK	REP
	ALINEACION COLITA					INDICADOR DE COMBUSTIBLE				
	ARRANQUE					INDICADOR DE LUCES				
	BOCINA					INDICADORES DEL TABLERO				
	COMPLETAR PIZARRA DE PRODUCCION					REGULACION DE CARBURADOR				
	CORTA CORRIENTE					RUIDO DEL MOTOR				
	INDICADOR DE CAMBIOS Y SELECTOR					TESTEADORA				
	OBSERVACIONES									
	OPERARIO:						FECHA: HORA:			
NOVALES VIE	Criterio de control		OK	NOK	REP	Observación		OK	NOK	REP
	DRENAJE DE CARBURADOR					PRUEBA DE SONIDO (GB)				
	CONTROL DE EMISION DE GASES					CONEXION DE MANGUERA				
	-HIDROXIDO DE CARBONO (%)					COMPLETAR STICKER DE OC				
	-HIDROCARBUROS (ppm)									
OBSERVACIONES										
OPERARIO:						FECHA: HORA:				
LIBERACION POR SISTEMA						RESPONSABLE: _____				

Figura 11 – Flujograma de almacenamiento de materia prima

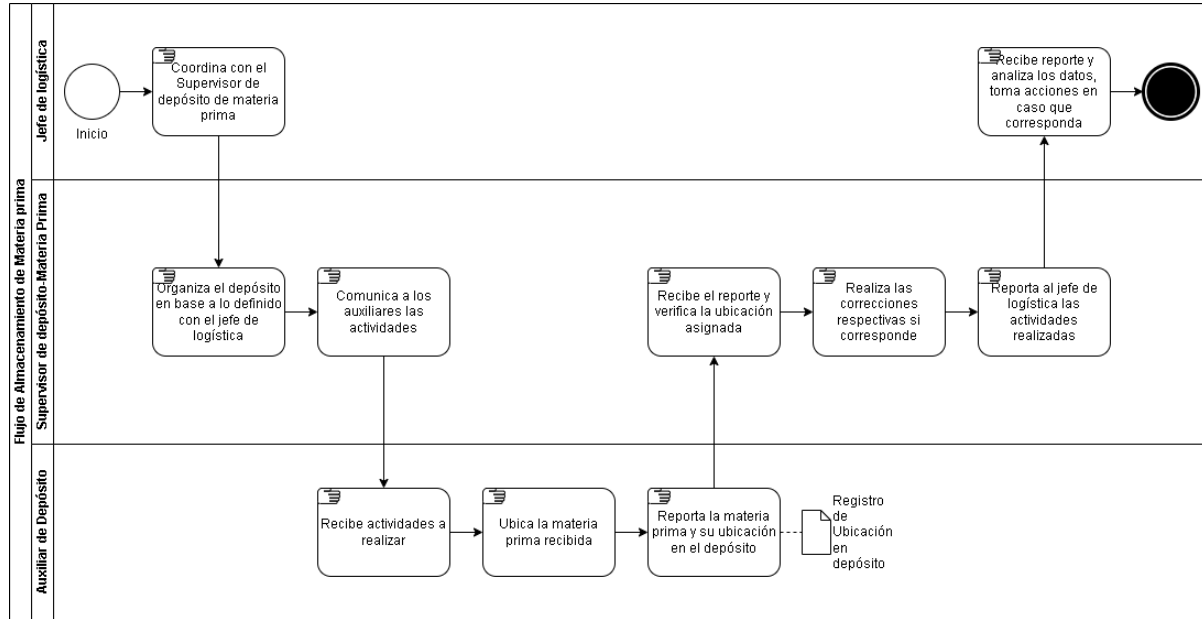


Figura 13 – Flujograma de planificación de producción

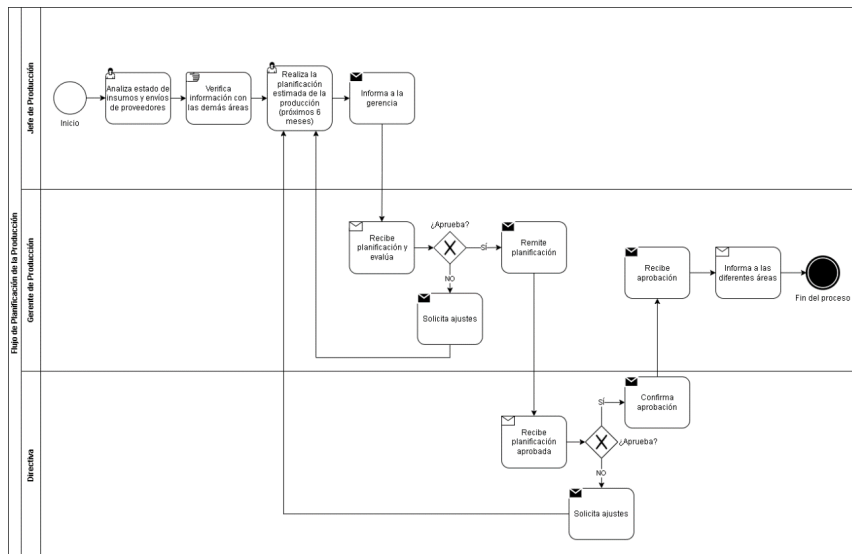


Figura 12 – Flujograma de abastecimiento

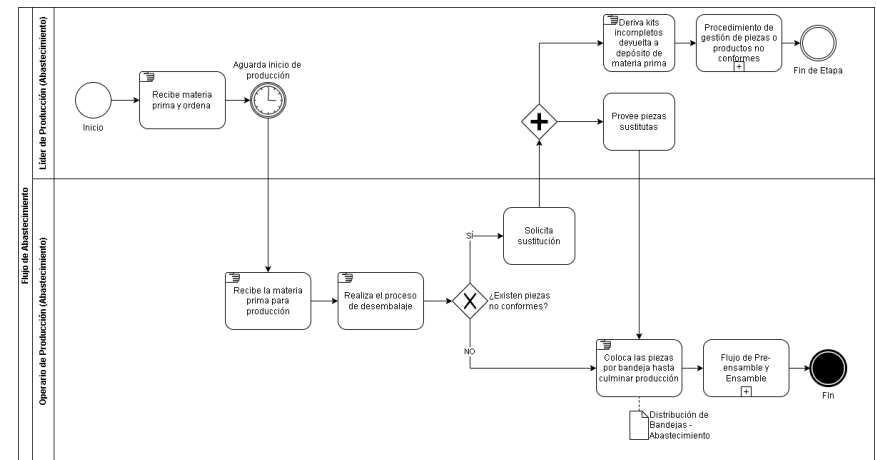


Figura 14 – Flujoograma de ensamble y pre-ensamble

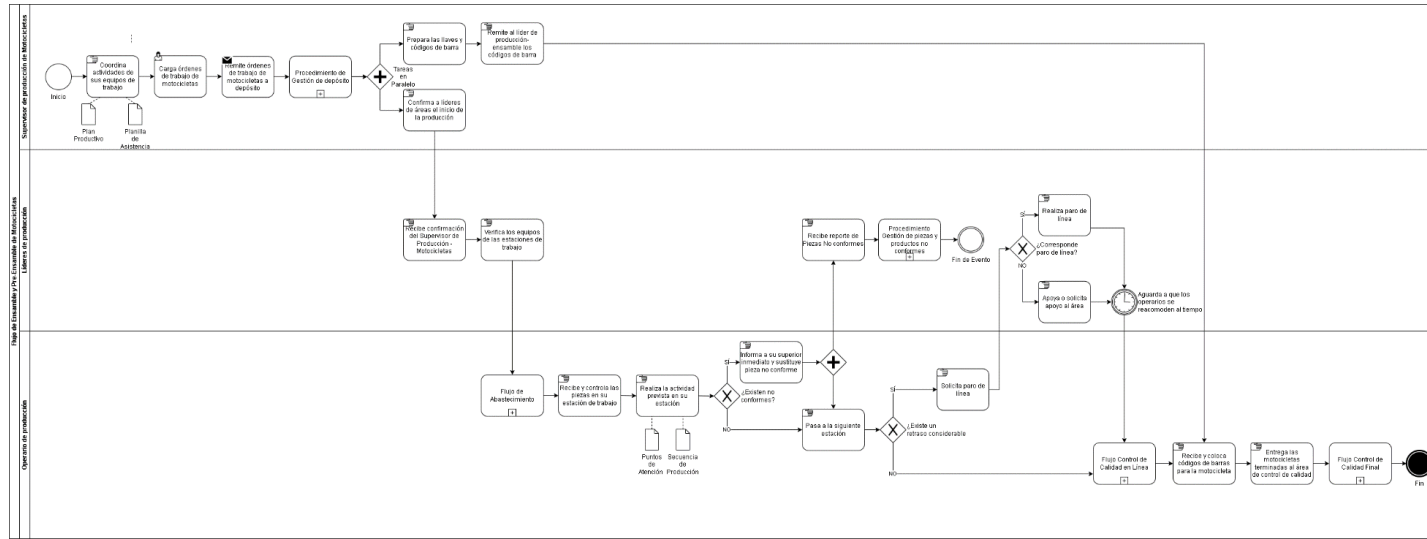


Figura 15 – Flujoograma de auditoría

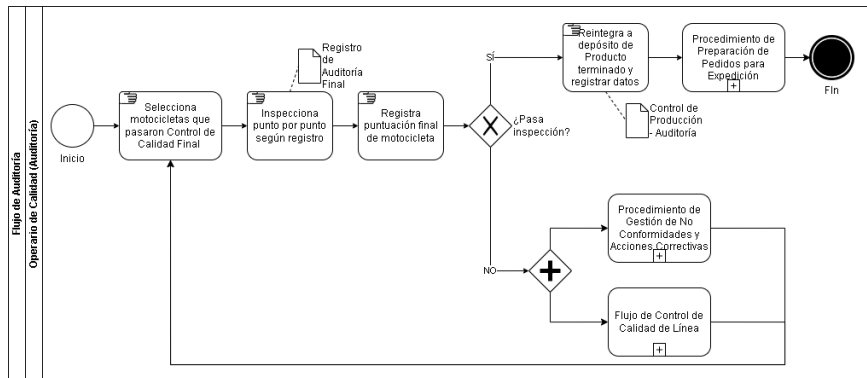


Figura 16 – Flujoograma de control de calidad de línea

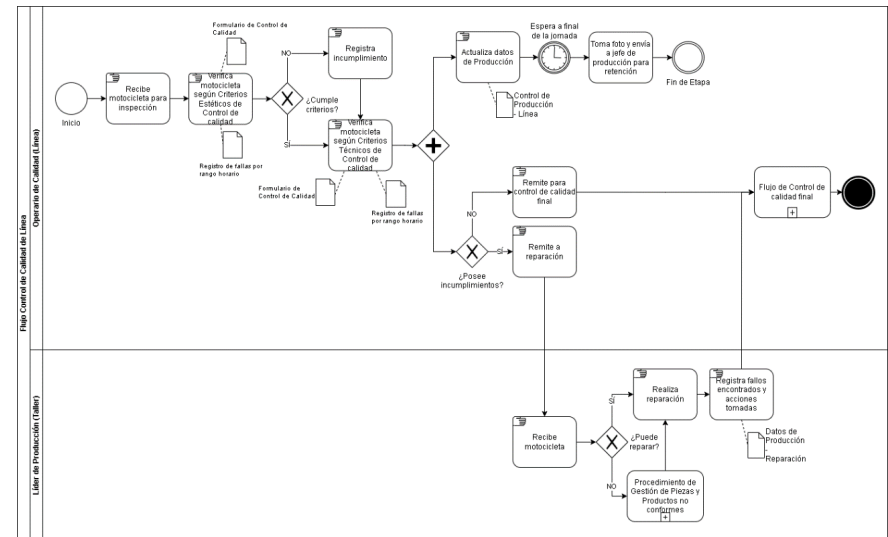
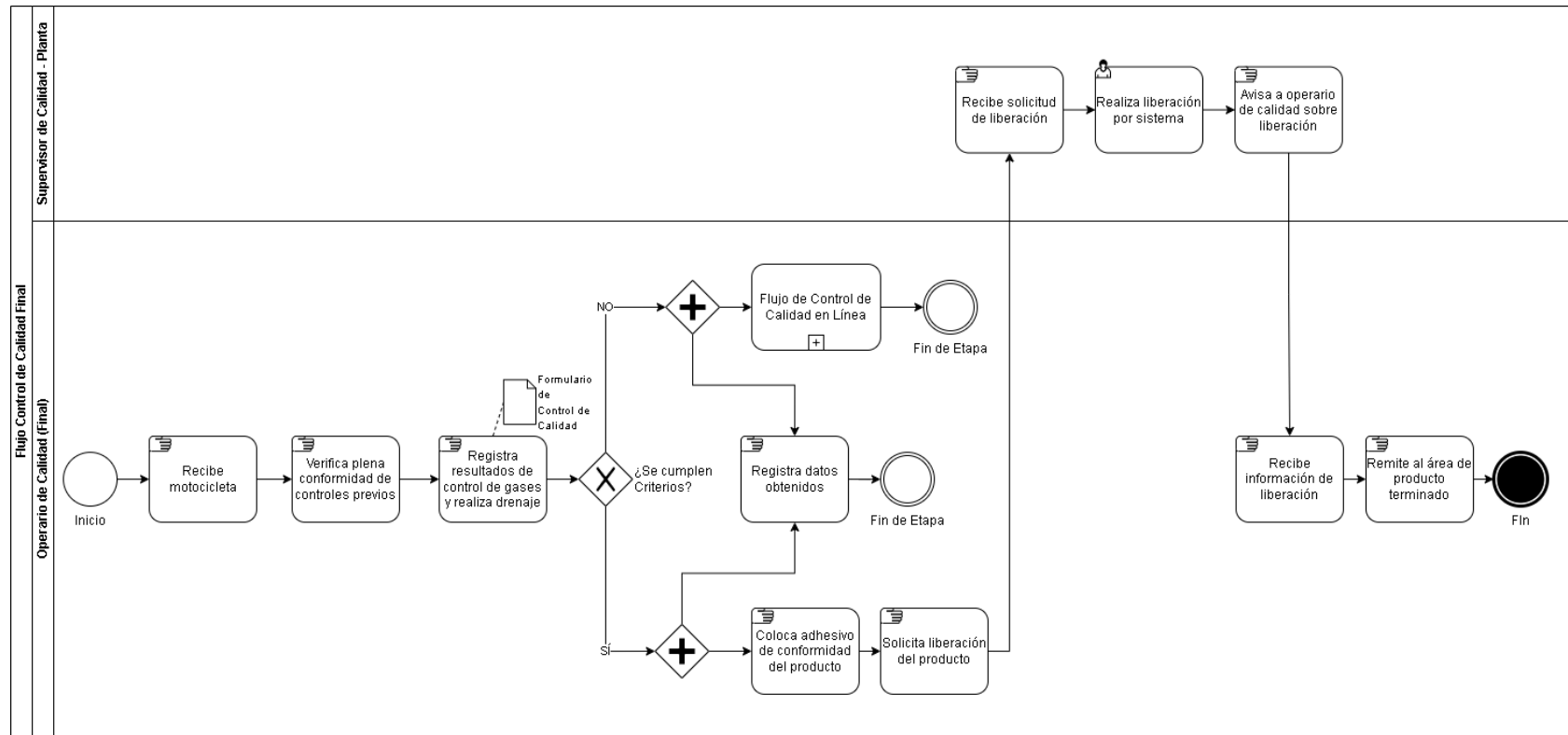


Figura 17 – Flujograma de control de calidad final



CONCLUSIÓN

Este trabajo concluye un primer acercamiento para la implementación de un sistema de gestión de calidad en conformidad con las normas ISO 9001 y con enfoque en optimización de los procedimientos de la empresa.

- Se han determinado puntos sensibles a mejorar en el Sistema de gestión general de la empresa, pudiéndose relatar casos específicos en cada área.

- Se han mejorado registros y otras documentaciones para facilitar y complementar la información ya generada en los procedimientos en la empresa. El nuevo formulario de calidad permite un mayor detalle a la hora de identificar defectos en las unidades, facilitando el trabajo de diagnóstico del taller y su seguimiento.

- Se han creado registros que permiten el acceso rápido al panorama productivo del momento. El nuevo registro de reparación como dato de producción facilita la detección de fallas recurrentes de manera sencilla, también permitió detectar el defecto de utilizar registros muy elaborados que no concuerdan con la disponibilidad laboral de los trabajadores.

- Ante la inexistencia de formalización de procedimientos, la creación de flujogramas que describan con claridad visual cada paso de los procedimientos y la documentación a utilizar en cada caso.

REFERENCIAS

- Al-Shamisi, M. H., Assi, A. H., & Hejase, H. A. N. (2013). Artificial neural networks for predicting global solar radiation in Al Ain City, UAE. *International Journal of Green Energy*, 10(5), 443–456. <https://doi.org/10.1080/15435075.2011.641187>
- Amat, J. (2016). Correlación y regresión lineal simple en R. R Pubs. https://www.cienciadedatos.net/documentos/24_correlacion_y_regresion_lineal
- Fernández, A. C. (2018). Planificación y gestión de la demanda: COML0210 (1.ª ed.). IC Editorial.
- García, T. R. (2016). Aplicaciones tecnológicas en la logística de transportes portuarios: Las terminales de contenedores. *Revista Transporte y Territorio*,

(14), 1–20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5560583>

- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Hagan, M. T., Demuth, H., & Beale, O. D. J. (2014). *Neural network design* (2nd ed.).

Utilización de Modelos de Redes Neuronales Artificiales (RNA) para la Predicción del Pronóstico de la Demanda en una Empresa Textil de la Ciudad de San Miguel, Departamento de Misiones, Paraguay.

Use of Artificial Neural Network (ANN) Models for Demand Forecasting in a Textile Company in the City of San Miguel, Department of Misiones, Paraguay.

Mónica Leticia Fleitas Guillén

monicafleitas96@gmail.com
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

Andrea Mercado Kröll

amerkröll@uc.edu.py
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

RESUMEN

La competitividad empresarial actual exige pronósticos de demanda precisos que permitan planificar de manera eficiente la producción, el inventario, la distribución y las compras, haciendo de la optimización de recursos una prioridad global. Este estudio evalúa la eficacia de las redes neuronales artificiales (RNA) como alternativa a los métodos de predicción tradicionales para estimar la demanda del producto hamaca-silla en una empresa textil de San Miguel, Paraguay. Se emplearon registros históricos mensuales de ventas, precios y variables temporales correspondientes al periodo 2014-2021. Se ensayaron distintas configuraciones de perceptrones multicapa con algoritmo de retropropagación, destinando el 70 % de los datos al entrenamiento y el 30 % a la validación. El modelo resultante alcanzó coeficientes de correlación elevados y bajos valores de error (ECM y MAPE), demostrando alta capacidad de generalización.

Palabras clave: redes neuronales artificiales, pronóstico de demanda, retropropagación

INTRODUCCIÓN

La planificación eficaz de la demanda es un elemento crítico en la gestión de cualquier empresa, pues sustenta decisiones de producción, inventario,

compras y ventas. La elaboración de pronósticos precisos permite anticipar variaciones del mercado y optimizar recursos, pero enfrenta retos como la selección de información relevante, la elección de métodos adecuados y la volatilidad de los entornos competitivos. Los enfoques estadísticos tradicionales, aunque útiles, suelen ser insuficientes cuando los datos presentan relaciones no lineales o alta variabilidad.

En este contexto, las redes neuronales artificiales (RNA) se presentan como una alternativa prometedora. Inspiradas en el funcionamiento del cerebro humano, las RNA aprenden de patrones históricos y reconocen relaciones complejas en series de tiempo. Desde la introducción del algoritmo de retropropagación en 1986, estos modelos han demostrado superar a técnicas clásicas de pronóstico, como la regresión o los métodos Box-Jenkins, ofreciendo una mayor capacidad de generalización y adaptabilidad, mejorando así la precisión de los pronósticos de ventas. Este estudio explora las RNA como alternativa para predecir la demanda de un producto textil en Paraguay mediante la utilización de datos históricos de ventas.

MARCO TEÓRICO

Pronóstico de la demanda en la cadena de suministro

La predicción de la demanda es un proceso que consiste en utilizar datos históricos para estimar acontecimientos futuros mediante modelos analíticos o matemáticos. Estos modelos permiten proyectar el comportamiento de variables relevantes a partir de información pasada.

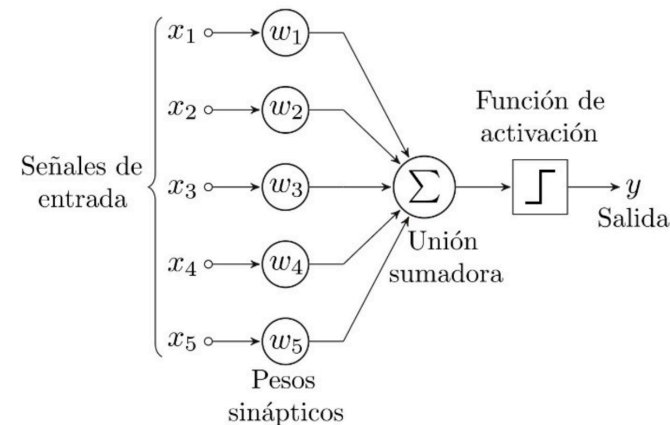
Las predicciones pueden basarse en enfoques subjetivos, fundamentados en la experiencia o juicio del administrador, o en métodos cuantitativos sustentados en modelos estadísticos y matemáticos. En la práctica, las organizaciones suelen combinar ambos enfoques para mejorar la precisión de los pronósticos (Fernández, 2018).

Redes neuronales artificiales (RNA)

Las redes neuronales artificiales (RNA) constituyen modelos computacionales inspirados en la estructura y funcionamiento del sistema nervioso humano. Estas redes están compuestas por unidades de procesamiento denominadas neuronas artificiales, interconectadas mediante pesos sinápticos que permiten el flujo de información dentro de la red.

Desde el punto de vista computacional, las RNA representan un paradigma de procesamiento de información capaz de aprender patrones complejos a partir de datos históricos. Durante el proceso de entrenamiento, la red ajusta los pesos de las conexiones entre neuronas con el objetivo de minimizar el error entre las salidas estimadas y los valores reales observados (García, 2016).

Figura 1. Arquitectura de una red neuronal artificial.



Nota. Las entradas (x) representan las variables a ser estudiadas, cada conexión entre neuronas recibe un determinado peso (w) que pondera cada entrada. La salida es la suma de las salidas de las neuronas que están conectadas a ella multiplicada por el peso de cada conexión.

Fuente: Extraído de “Introducción a las Redes Neuronales Artificiales” (p.13) por Juan Sierra, 2022 (Sierra, 2022).

METODOLOGÍA

Recolección de datos y preprocesamiento

Se utilizaron registros históricos mensuales de ventas del producto hamaca-silla de una empresa textil de San Miguel, Paraguay. El periodo abarcado fue de enero del 2014 a abril del 2022, totalizando 100 observaciones. Se normalizaron los datos para evitar saturación de las funciones de activación y mejorar la estabilidad del entrenamiento, siguiendo las recomendaciones de Al-Shamisi et al. (2013).

División de conjuntos

Los datos fueron divididos en dos subconjuntos: 70 % para entrenamiento y 30 % para validación/prueba.

Dado que se trata de una serie temporal, la partición se realizó de forma cronológica, utilizando los primeros periodos para el entrenamiento y los restantes para la validación y prueba, con el fin de preservar la secuencia temporal de las observaciones. Se construyó un perceptrón multicapa (MLP) de propagación hacia adelante (feed-forward), entrenado con el algoritmo de retropropagación (backpropagation). Este método, basado en gradiente descendente, se complementó con momentum y tasa de aprendizaje adaptativa para reducir el riesgo de mínimos locales, que suele ser común en los métodos de gradiente. La función de transferencia elegida fue sigmoide en las capas ocultas y lineal en la capa de salida, en consonancia con Hagan et al. (2014).

Entrenamiento y validación

El entrenamiento se realizó en MATLAB R2022a utilizando las funciones `feedforwardnet` y `newff`. Se fijó un máximo de 20.000 épocas, ajustando de manera experimental la tasa de aprendizaje (α) y el momentum (μ) para optimizar la convergencia. La selección del modelo final se basó en el menor error cuadrático medio (MSE) en el conjunto de validación.

Evaluación estadística

El desempeño del modelo se evaluó con el coeficiente de correlación de Pearson entre valores predichos y observados. La significancia del coeficiente de correlación se comprobó mediante una prueba t de Student con nivel de significancia $\alpha = 0,10$ ($\alpha/2 = 0,05$ para contraste bilateral), siguiendo el procedimiento descrito por Gutiérrez & De la Vara (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1. Exhibe la configuración completa de la RNA diseñada.

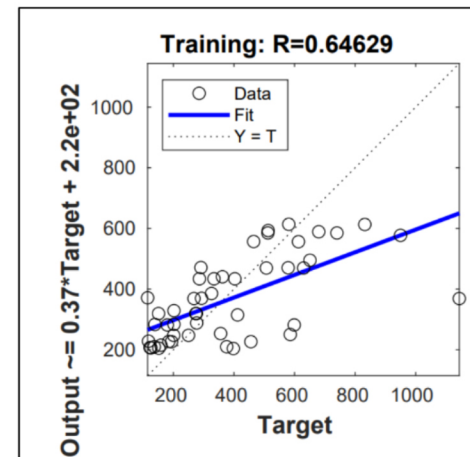
Tabla 1. Cuadro resumen de la configuración de la RNA

Tipo de red	Perceptrón Multicapa
Tipo de aprendizaje	Supervisado
Tipo de algoritmo de entrenamiento	Backpropagation
Tipo de función de Entrenamiento	Gradiente descendente con momento y ratio de aprendizaje adaptativo (traingdx)3
Número de capas ocultas	3
Número de neuronas en la capa de entrada	2
Número de neuronas en la capa oculta	[8,7,6]
Número de neuronas en la capa de salida	1
Función de transferencia	Sigmoide y Lineal
Ratio de aprendizaje dinámico (α)	0.7
Momentum μ	0.9

Fuente: Elaboración propia

Para determinar si existe o no correlación entre los valores predichos y los valores objetivos (valores reales de demanda) se optó por utilizar el coeficiente de correlación de Pearson.

Figura 2. Correlación lineal del entrenamiento.



Fuente: Elaboración propia

La figura 2 representa el coeficiente de correlación para el entrenamiento. Se aprecia que este

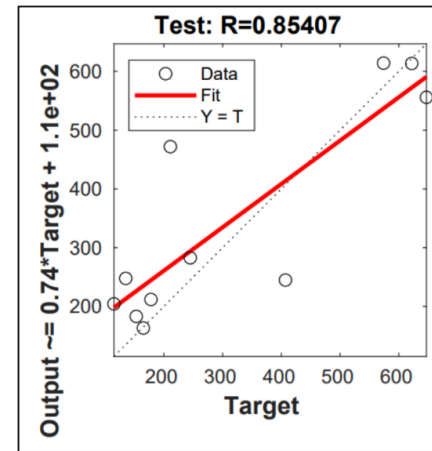
coeficiente obtuvo un valor de 0.64 indicando una fuerte correlación entre los valores predichos por la RNA y los objetivos.

Los puntos de la imagen representan a los datos de demanda predichos por la red durante el entrenamiento del modelo, la línea punteada indica una correlación perfecta entre el target (objetivo) y lo pronosticado (Y), mientras que la línea azul representa la línea de tendencia de los valores pronosticados por la RNA, es decir, muestra la desviación que tienen los valores pronosticados con respecto a la demanda real.

Por otro lado, la etiqueta de la ecuación output (salida) presentada en la figura muestra qué tan bien puede funcionar el modelo de red neuronal, es decir, denota la relación entre el valor predicho por la RNA y el valor objetivo, con la salida de la red como variable dependiente y el objetivo como variable independiente. El coeficiente de la variable target de la ecuación indica la proporcionalidad entre la salida (valores predichos) y los objetivos, por lo tanto, para un buen rendimiento, dicho coeficiente debe estar lo más cerca posible a la unidad. El segundo término de la ecuación, que es una constante, representa el error o el residuo que debe agregarse al objetivo de manera a que sea lo más cercano posible a la salida predicha por la red, idealmente, debe ser cero o lo más pequeño posible.

Durante la prueba el coeficiente de correlación arroja un valor de 0.85

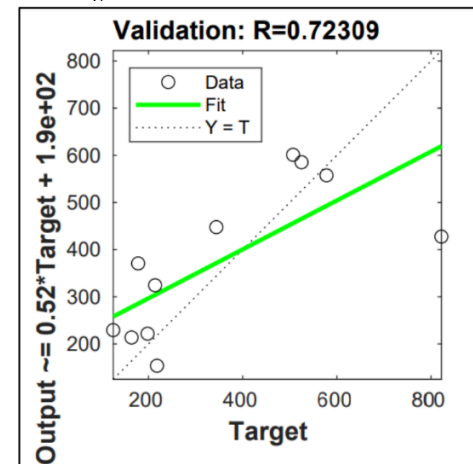
Figura 3. Correlación lineal de la Prueba.



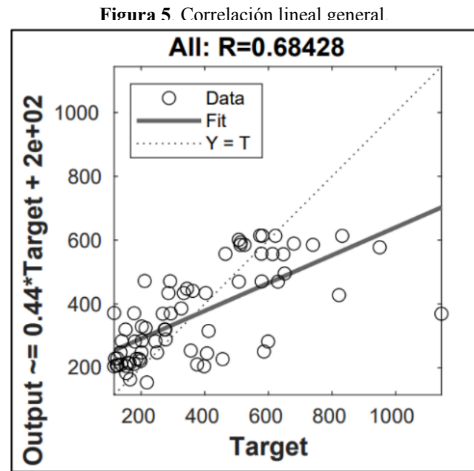
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3, la desviación estándar representada por la línea roja es mínima, esto indica que los valores pronosticados por la red están muy cerca de los valores de demanda, ya que la línea punteada y la roja prácticamente se yuxtaponen.

Figura 4. Correlación lineal de la Validación



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación durante la validación de la red fue de 0.72 y el coeficiente general fue de 0.68 indicando también buenos resultados.

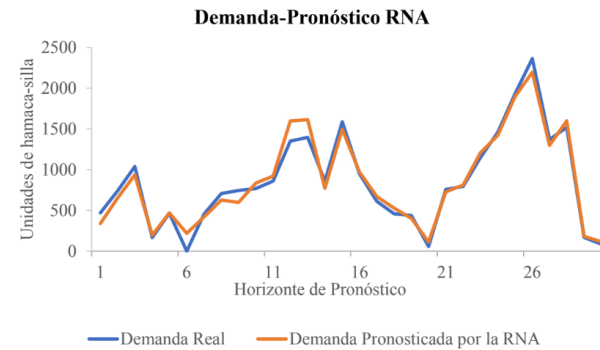
Desempeño de la RNA

El criterio de evaluación de eficiencia de la RNA seleccionado fue el Error Cuadrático Medio, (ECM) = 101.3515

Se recuerda que valores bajos para el EMC indican mejores ajustes entre la cantidad pronosticada y el valor objetivo. Para este estudio se tomó como referencia la desviación estándar (σ) del conjunto de datos de prueba como límite aceptable, siendo el valor de σ igual a 573.39. Es así que una desviación mayor o menor al valor de σ indicaría un mal desempeño de la RNA, ya que estaría pronosticando valores muy diferentes a la demanda real.

Tomando en cuenta estas consideraciones y σ como criterio de evaluación de eficiencia se concluye que el valor para el ECM es bajo indicando un muy buen

desempeño de la RNA.



La diferencia más significativa entre el valor predicho y el valor real se observó en abril de 2020, mes en el cual la empresa suspendió sus actividades productivas debido a la pandemia de COVID-19, registrándose una demanda real de cero unidades. Sin embargo, la red neuronal pronosticó una demanda de 219 unidades.

Esta diferencia puede atribuirse a que el modelo no fue capaz de reconocer la ocurrencia de un evento extraordinario. Como posible mejora del modelo, podría incorporarse una variable binaria adicional que permita identificar eventos especiales o situaciones excepcionales que afectan el comportamiento de la demanda.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Cuadro resumen significancia estadística

Etap	Coefficiente decorrelación (r)	t-Student	t-Student crítico	Significancia
Entrenamiento	0.64000	4.407	1.7011	Significativo
Prueba	0.85407	8.6883	1.7011	Significativo
Validación	0.72309	5.539	1.7011	Significativo
General	0.68428	4.9654	1.7011	Significativo

Fuente: Elaboración propia

El valor de $t_{student}$ de entrenamiento fue mayor a su valor crítico, por lo tanto, la significancia del

coeficiente de correlación no se debe al azar, sino que, existe una relación lineal entre los datos de demanda pronosticado por la RNA y los valores reales de demanda que se introdujeron al modelo de red como salida para que la red aprendiera en el entrenamiento. El hecho de que el coeficiente de correlación no se haya debido al azar nos indica que la RNA implementada ha aprendido a reconocer los patrones implícitos en el conjunto de datos de entrenamiento, lo que a su vez implica que la red podrá realizar predicciones acertadas del producto hamaca-silla en horizontes de tiempos futuros.

El valor del estadístico t_{student} también fue mayor al valor crítico, por lo que, se afirma la existencia de una correlación entre la salida de la red y la demanda real durante la prueba de la RNA. pues, un valor alto de correlación durante la prueba nos indica que la red ha sido capaz de realizar predicciones precisas de demanda con los datos de prueba introducidos a modelo. Analizando en términos de ECM el desempeño de la RNA es muy bueno debido a que su valor se encuentra muy por debajo a la desviación estándar del conjunto de datos de prueba, lo que significa que los pronósticos realizados por la RNA no se desvía mucho con relación a la media.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian la importancia de contar con herramientas de pronóstico de demanda precisas para mejorar los procesos de planificación empresarial.

El modelo de red neuronal artificial desarrollado en este estudio permitió estimar con un buen nivel de precisión la demanda del producto hamaca-silla en la empresa textil analizada. La inclusión de variables relevantes como el tiempo, el precio y la demanda histórica permitió mejorar la capacidad predictiva del modelo.

Asimismo, los resultados muestran que las redes neuronales artificiales constituyen una herramienta

eficaz para el análisis y predicción de series temporales en contextos empresariales caracterizados por relaciones no lineales entre variables.

Si bien el diseño de modelos de RNA requiere la selección experimental de diversos parámetros y no existe una fórmula universal para su construcción, los resultados obtenidos en esta investigación demuestran su potencial aplicación en la gestión de la demanda y en la toma de decisiones dentro del sector textil.

REFERENCIAS

- Al-Shamisi, M. H., Assi, A. H., & Hejase, H. A. N. (2013). Artificial neural networks for predicting global solar radiation in Al Ain City, UAE. *International Journal of Green Energy*, 10(5), 443–456. <https://doi.org/10.1080/15435075.2011.641187>
- Amat, J. (2016). Correlación y regresión lineal simple en R. RPubS. https://www.cienciadedatos.net/documentos/24_correlacion_y_regresion_lineal
- Fernández, A. C. (2018). Planificación y gestión de la demanda: COML0210 (1.ª ed.). IC Editorial.
- García, T. R. (2016). Aplicaciones tecnológicas en la logística de transportes portuarios: Las terminales de contenedores. *Revista Transporte y Territorio*, (14), 1–20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5560583>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos (2.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Hagan, M. T., Demuth, H., & Beale, O. D. J. (2014). *Neural network design* (2nd ed.).

Evaluación del lavado de suelos contaminados con plomo utilizando goma xantana como agente extractante

Evaluation of the washing of lead-contaminated soils using xanthan gum as an extracting agent

Maya Acosta

maya.jime.acosta2@gmail.com
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Alto Paraná - Paraguay

Celia Vázquez

celia.vazquez@uc.edu.py
Universidad Católica "Nuestra Señora
de la Asunción" - Campus Guairá - Paraguay

RESUMEN

El metal pesado plomo, es un contaminante actual del suelo que puede provenir de diversas fuentes. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia del lavado de suelo utilizando goma xantana como agente extractante para la remoción de plomo en muestras de suelo provenientes del Lago de la República (Ciudad del Este, Paraguay). Además, se determinaron las propiedades fisicoquímicas del suelo muestreado. El experimento se desarrolló mediante un diseño preexperimental a escala laboratorio. El suelo fue artificialmente contaminado con una solución de nitrato de plomo (0,02 M) y posteriormente sometido a lavado con soluciones de goma xantana al 0,25 % y 0,5 % (m/v) bajo una relación suelo/solución de 1:10, agitación a 150 rpm durante 18 h. Los resultados mostraron que la solución de xantano al 0,25 % logró una remoción del 53,46 % del plomo, reduciendo la concentración de 2282 mg/kg a 1061 mg/kg, mientras que la solución al 0,5 % alcanzó una remoción del 83,74 %, disminuyendo la concentración a 371,14 mg/kg. La caracterización fisicoquímica del suelo indicó una textura franco arcillosa, pH 5,5, alta capacidad de intercambio catiónico (50,5 cmol/kg) y alto contenido de materia orgánica (7,79 %). Los resultados sugieren que la goma xantana puede ser un agente extractante eficiente para la remoción de plomo en procesos de lavado de suelos.

Palabras clave: Plomo, Goma Xantana, Lavado de suelos, Remediación Ambiental

INTRODUCCIÓN

Debido a que las fuentes de contaminación no se controlan de manera efectiva, la contaminación del suelo y las aguas subterráneas se está convirtiendo en un problema grave en todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

La contaminación del suelo y la posible contaminación de las aguas subterráneas con metales pesados tóxicos son problemas comunes en muchos sitios de eliminación de desechos peligrosos. Estos incluyen, por ejemplo, sitios industriales o comerciales donde se almacenan o eliminan los desechos de producción.

Uno de los contaminantes inorgánicos es el plomo, un metal pesado, no biodegradable y persistente en el medio ambiente. El riesgo que representa para los organismos vivos es debido a su elevada biodisponibilidad (Moreno Fernández, 2018).

La contaminación de Pb en el suelo es causada principalmente por actividades antrópicas como la generación de residuos urbanos, el uso de agroquímicos

y plaguicidas, la producción de energía, soldaduras y pinturas, la fabricación de baterías, la generación de lodos de depuración y las emisiones mineras, industriales y vehiculares (Castro-Hinostroza et al., 2024).

El plomo llega al suelo principalmente en forma de compuestos insolubles. Luego, sufre diferentes cambios en el suelo dependiendo de sus propiedades físicas y químicas. La reubicación de metales pesados en los perfiles de suelo es un elemento importante del monitoreo ambiental, ya que incluso una migración lenta de estos elementos en el perfil puede conducir a la contaminación de las aguas subterráneas (Karahán, 2023).

Las soluciones de remediación eficaces son cruciales para la recuperación de la salud del suelo y la mitigación de los riesgos ambientales. El lavado y la limpieza del suelo se reconocen cada vez más por su alta eficacia en la eliminación de contaminantes, especialmente en el tratamiento de contaminantes hidrófobos y metales pesados (Masría et al., 2025).

En el lavado de suelos, que puede realizarse in situ y ex situ se utilizan agentes químicos que ayudan a la remoción de la contaminación. Es un proceso de tratamiento de suelos a base de agua que se basa en procesos tradicionales de extracción y separación física y química para eliminar una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Rodríguez-Eugenio et al., 2018).

Debido a las fuertes propiedades de sorción del suelo, lo que es posible gracias a la presencia de materia orgánica, los metales pesados son retenidos en gran medida en sus capas superiores de humus. Las mayores cantidades de Cd y Pb se encuentran en la capa de suelo de 0 a 5 cm. (Zwolak et al., 2019).

La goma xantana es de color crema, inodora, no tóxica, inmunológica, biocompatible y biodegradable, y estable frente al calor y a condiciones ácidas y alcalinas.

Presenta una alta tolerancia a un pH de entre 2 y 12, a altas concentraciones de sal, a la degradación química y a temperaturas de entre 90 y 95 °C. Sus soluciones son altamente pseudoplásticas y muestran un comportamiento no newtoniano (Kashaudhan et al., 2024).

Ko et al. (2022) demostraron que la reacción de sorción entre la goma xantana y los metales pesados Cd, Cu, Pb y Zn ocurre en un tiempo de equilibrio de 10 minutos, sigue una cinética de pseudo-segundo orden y presenta capacidades máximas de sorción de 16.0, 8.5, 38.3 y 7.2 mg/g o mg/L para Cd, Cu, Pb y Zn respectivamente, siendo Pb el metal con mayor afinidad por el biopolímero.

El rendimiento del lavado del suelo es muy sensible a las condiciones del suelo. Depende de las características individuales del sitio, la mezcla de contaminantes del suelo, la distribución del tamaño de las partículas y la gravedad específica. Ciertas bibliografías indican que el proceso es más eficaz cuando se aplica a suelos y sedimentos que contienen grandes proporciones de arena y grava, y es relativamente ineficaz cuando se aplica a suelos con un alto contenido de limo y arcilla.

El presente trabajo propone la aplicación a escala laboratorio del lavado de suelos contaminados con plomo mediante el uso del polisacárido xantano como extractante de suelo de la zona de Alto Paraná, a fin de determinar el porcentaje de extracción del metal, atendiendo las características del suelo.

MARCO TEÓRICO

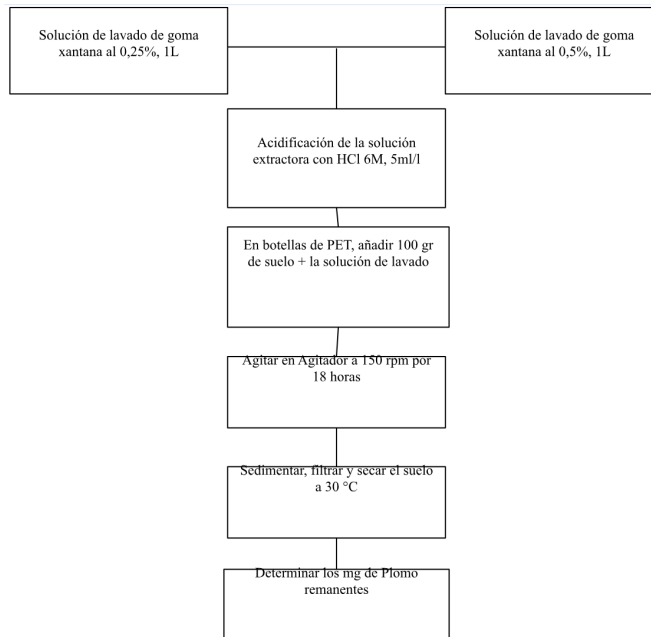
Procedimiento de lavado de suelo

El suelo recolectado fue secado al aire, homogenizado y tamizado a través de un tamiz de 2 mm. Debido a que la muestra original no presentó concentraciones detectables de plomo, se procedió a contaminar artificialmente el suelo mediante la adición de una solución de nitrato de plomo $Pb(NO_3)_2$ 0,02 M,

hasta alcanzar una concentración inicial aproximada de 2282 mg/kg.

El proceso de lavado se realizó utilizando soluciones acuosas de goma xantana a concentraciones de 0,25 % y 0,5 % (m/v). Para cada ensayo se utilizaron 100 g de suelo contaminado y 1000 mL de solución extractante, manteniendo una relación suelo/solución de 1:10 (m/v).

Figura 1. Flujoograma del lavado de suelos



Fuente: Elaboración propia con base a lo investigado

Las mezclas fueron colocadas en recipientes de PET y sometidas a agitación mecánica a 150 rpm durante 18 horas. Posteriormente, las muestras fueron dejadas en reposo para permitir la sedimentación del suelo. El sobrenadante fue separado mediante filtración y el suelo residual fue secado en estufa a 30 °C.

La solución extractora fue acidificada mediante la adición de HCl 6 M (5 mL/L) para preservar los metales en solución. La determinación de la concentración de plomo se realizó mediante análisis instrumental en el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN), utilizando técnicas de análisis de metales en matrices ambientales.

El proceso realizado se presenta en la Figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo

A continuación, en la Tabla 1, se exponen los resultados obtenidos acorde a los ensayos realizados para la determinación de propiedades fisicoquímicas de la muestra de suelo para su caracterización, cumpliendo con el primer objetivo específico de este trabajo.

Característica	Unidad de medida	Resultado	Clasificación
Textura	% Arena	30,95	Franco arcilloso
	% Arcilla	40,71	
	% Limo	28,33	
pH	-	5,5±0,03	Moderadamente ácido
Humedad (%)	%	20,3151	
Análisis Granulométrico	Módulo de Finura	-	Arena muy fina
		0,0207	
Densidad real (Dr)	g/cm ³	1,8528	Franco arcilloso
Densidad aparente (Da)	g/cm ³	1,0856	Arcilloso
Porosidad	%	41,4075	Muy baja
Materia orgánica	%	7,79±0,8	Muy alta
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Cmol/kg	50,5	Muy alta
Conductividad Eléctrica	dS/m	0,23±0,02	Despreciable de salinidad

Fuente: Elaboración propia

La determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla (partículas de suelo menores a 2mm pertenecientes a la fracción denominada tierra fina), y su posterior representación gráfica en el diagrama textural de la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés), permitió clasificar el

suelo extraído del Lago de la República texturalmente, siendo este perteneciente a la categoría de suelos “francos arcillosos”.

En cuanto a la medición de pH, se obtuvo un valor promedio de 5,5; escala en el que el suelo es considerado moderadamente ácido. Presenta reducida disponibilidad de calcio, magnesio, potasio, sodio y molibdeno; y acumulan aluminio e hidrógeno, factores podrían ser afectar o modificar el correcto crecimiento de la vegetación. Cabe resaltar que es un valor normal en suelos franco arcillosos.

El porcentaje del contenido de agua a 105 °C obtenido fue cercano al 20%, y la capacidad de retención de agua (estimación la cantidad máxima de agua almacenada en el suelo), fue alrededor de 25%.

El resultado obtenido de materia orgánica fue cercano al 7%, considerando el contenido de materia orgánica como muy alto. Esto pudo deberse a los fuertes enlaces químicos que se desarrollan entre la materia orgánica y la arcilla y el limo fino protegen a las moléculas orgánicas del ataque y la descomposición de los microorganismos y sus enzimas.

Lavado del Suelo

La Tabla 2 representa los resultados de los dos lavados de suelo aplicados a dos muestras con la misma concentración de plomo. El primer lavado fue realizado con una solución al 0,25% de goma xantana, obteniéndose una concentración final de 1061 mg/kg, siendo el porcentaje de remoción de un 53,46%. En el segundo lavado se utilizó una solución al 0,5% de xantano, obteniéndose una concentración final de 371,14 mg/kg, siendo el porcentaje de remoción de un 83,74%.

Tabla 1 - Resultados del lavado de suelos

Muestra	Concentración de Pb Inicial	Concentración de xantano en el lavado	Concentración de Pb post lavado	% de Pb post lavado	% de remoción del Pb
Muestra 1	2282 mg/kg	0,25%	1061,3 mg/kg	46,54%	53,46%
Muestra 2	2282 mg/kg	0,50%	371,14 mg/kg	16,26%	83,74%

Fuente: Elaboración propia

Se puede definir que la concentración de xantano que permitió una mayor remoción del plomo fue la solución al 0,5% de xantano, la cual removió un 83% del plomo contenido en la muestra. La solución al 0,25% de xantano logró superar el 50% de remoción, superando así el resultado esperado que era de un 40% según la bibliografía consultada (Ortiz, 2020).

En el grafico 2, se puede apreciar las diferencias que existen entre ambos lavados.

Esto pudo deberse a las propiedades del suelo contaminado, siendo este un suelo franco arcilloso de arenas finas, es decir, el tamaño de las partículas de suelo no supera los 125µm. Esto representa una mayor superficie de contacto con la solución de lavado, derivando en un aumento de la adsorción del plomo en las partículas del xantano.

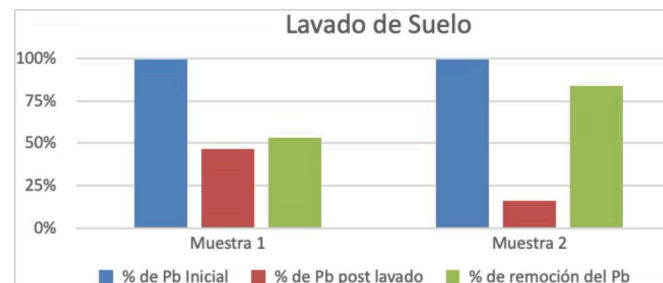


Grafico 2. Resultados del Lavado de Suelos

Los resultados obtenidos indican que el incremento de la concentración de goma xantana mejora significativamente la eficiencia de remoción del plomo. La solución al 0,5 % (m/v) permitió alcanzar una remoción del 83,74 %, superior a la obtenida con 0,25 %

(53,46 %). Este comportamiento puede atribuirse a la mayor disponibilidad de grupos funcionales aniónicos en el biopolímero, capaces de formar complejos con los iones Pb^{2+} y facilitar su transferencia hacia la fase líquida. Resultados similares han sido reportados en estudios de lavado de suelos utilizando agentes biopoliméricos y biosurfactantes, donde eficiencias de remoción entre 60 % y 85 % han sido observadas dependiendo de las características del suelo y del agente extractante utilizado. En particular, Wang et al. (2019) reportaron eficiencias superiores al 70 % en la remoción de plomo utilizando agentes orgánicos en suelos arcillosos, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en este estudio.

Por otro lado, Ko et al. (2022) demostraron que la reacción de sorción entre la goma xantana y el Pb presenta capacidades máximas de sorción de 38.3 y mg/L, siendo Pb el metal con mayor afinidad por el biopolímero.

La alta capacidad de intercambio catiónico (50,5 cmol/kg) y el elevado contenido de materia orgánica (7,79 %) del suelo analizado pueden influir en la retención del plomo, lo que explica la necesidad de utilizar concentraciones relativamente altas de agente extractante para lograr una remoción eficiente.

CONCLUSIÓN

La utilización de la goma xantana en el lavado de suelos contaminados para la remoción del plomo ha sido altamente efectiva. Se logró un porcentaje de remoción superior al 50%, lo cual indica que esta técnica puede ser considerada como una opción viable y prometedora para la descontaminación de suelos afectados por la presencia de plomo.

Los resultados obtenidos respaldan la eficacia de la goma xantana como agente de remediación en procesos de lavado de suelos y destacan su potencial para mitigar los riesgos asociados con la contaminación por plomo en el medio ambiente.

Se puede considerar que las propiedades fisicoquímicas determinadas en el suelo que permitieron su caracterización, están relacionadas a la buena adsorción del plomo a las partículas del suelo. Al mismo tiempo, la característica aniónica de la goma xantana permitió una buena remoción del plomo.

Sin embargo, se recomienda realizar investigaciones adicionales para evaluar su aplicación a gran escala y comprender mejor los mecanismos involucrados en la interacción entre la goma xantana y el plomo en los suelos contaminados. En general, este estudio proporciona una base sólida para futuros esfuerzos de investigación y aplicación práctica en la remediación de suelos contaminados.

Se puede considerar que las propiedades fisicoquímicas determinadas en el suelo que permitieron su caracterización, están relacionadas a la buena adsorción del plomo a las partículas del suelo. Al mismo tiempo, la característica aniónica del xantano permitió una buena remoción del plomo.

REFERENCIAS

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Contaminación del suelo. <https://www.fao.org/faostories/article/es/c/1126977/>
- Moreno Fernández, M. (2018). La contaminación del suelo por plomo y sus consecuencias sobre la salud humana [Trabajo de fin de grado, Universidad Complutense de Madrid]. E-Prints Complutense. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/62982/>
- Castro-Hinostroza, N., Mestanza Novoa, C. J., Vizarreta-Luna, G. A., Gutiérrez Vélchez, P. P., Guerrero Barrantes, J. A., Nazario Ríos, J. C., & Tello Peramás, L. D. (2024). Distribución espacial del plomo en el suelo urbano de Callao, Perú. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 135–151. <https://doi.org/10.20937/RICA.54845>

- Masria, A., Ibrahim, M. G., Nassar, H. F., Khattab, A. M., & Elbeih, S. F. (2025). Soil remediation through washing and flushing: bibliometric trends, technical review, and future prospects. *Environmental Earth Sciences*, 84(456). <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12386-y>
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Alianza Mundial por el Suelo, FAO. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szpyrka, E., & Stawarczyk, K. (2019). Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: A review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230, 1-9. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-9310-6_12
- Karahan, F. (2023). Evaluation of trace element and heavy metal levels of some ethnobotanically important medicinal plants used as remedies in Southern Turkey in terms of human health risk. *Biological Trace Element Research*, 201(1), 493-513. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9167670/>
- Kashaudhan, K., Pande, P. P., Sharma, J., Shankar, R., & Nath, A. (2024). Modified xanthan gum (natural polymeric material) and its derivative for wastewater treatment: A review. *American Institute of Chemical Engineers*. <https://doi.org/10.1002/ep.14419>
- Ko, M.-S., Jeon, Y.-J., & Kim, K.-W. (2022). Novel application of xanthan gum-based biopolymer for heavy metal immobilization in soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108437. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108240>
- Ortíz Reyes, T. (2020). Tratamiento de un suelo contaminado con escorias de plomo, mediante las técnicas de lavado y encapsulamiento (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.)
- Wang, G., Pan, X., Zhang, S., Wang, J., & Chen, H. (2019). Remediation of heavy metal-contaminated soil by soil washing: A review. *Journal of Soils and Sediments*, 19(1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-02196-4>



Universidad —

— **Católica**

Nuestra Señora de la Asunción

CAMPUS GUAIRÁ