

Año 11, Número 2, 2024

REAXXION

Ciencia y tecnología universitaria

XXXII

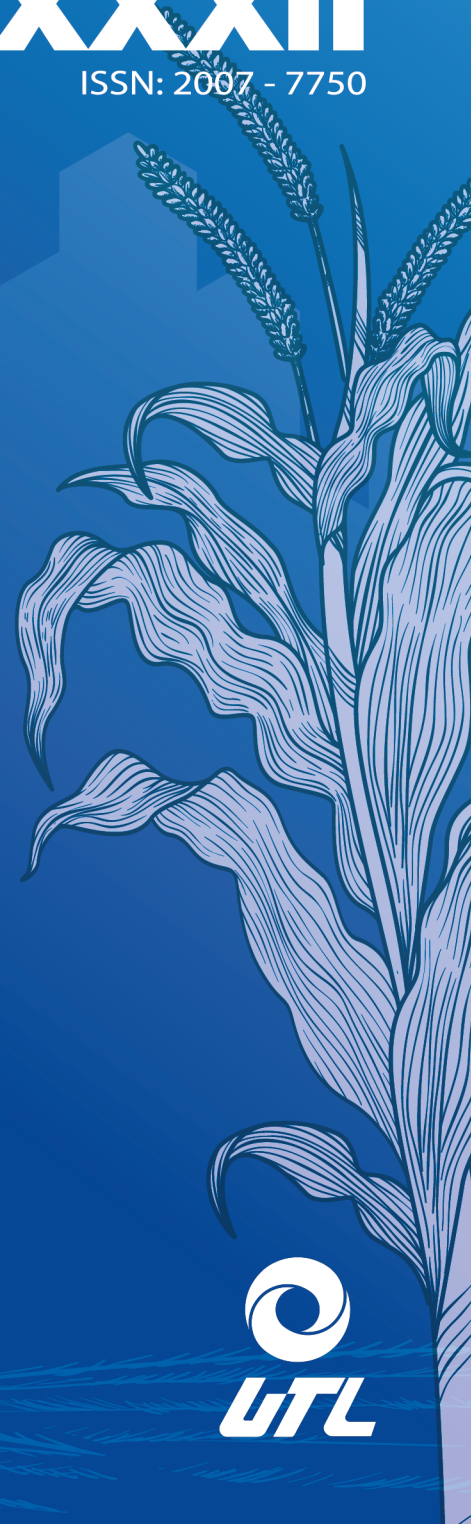
ISSN: 2007 - 7750

Identificación, clasificación y control de malezas en el cultivo de trigo (*triticum*), en tres ejidos de Salvatierra, Guanajuato

Monitoreo y caracterización estequiométrica de un FotoAirLift como postratamiento a un sistema de tratamiento biológico de aire

Propuesta y diseño de estrategias de control para la organización del almacenamiento de materiales peligrosos

Plan de mantenimiento predictivo con análisis de tendencias de vibraciones para mejorar la gestión





UTL

LEÓN

Directorio

Jorge Enrique Hernández Meza

Secretario de Educación de Guanajuato

Yoloxóchitl Bustamante Díez

Encargada de Despacho de Rectoría de la Universidad Tecnológica de León

José Ernesto López Juárez

Secretario Académico

Olga Rebeca Ledesma García

Directora de Desarrollo Académico y Docente

José de Jesús Mendoza Rivas

Director de Económico Administrativo

Eduardo Pérez Gutiérrez

Director de Tecnologías Emergentes Industriales e Informáticas

Ma. de Jesús Armenta Ortiz

Subdirectora de Económico Administrativo

José Jaime Ávila Morales

Subdirector de la Unidad Académica del Sureste

Laura Paulina Badillo Canchola

Subdirectora de Tecnologías Emergentes Industriales e Informáticas

Martha Betzabé Murillo

Hernandez

Subdirectora de Industrial Sustentable

Comité Editorial

Liliana González Arredondo

Directora Editorial

Pedro Andrés Meza Torres

Aseguramiento de calidad

Daniel Israel Rodríguez Gante

Diseño web

Laura Elizabeth Martínez Olaz

Diseño gráfico y editorial

María de la Luz García Cárdenas

Corrección Editorial

Jessica Sandoval Palomares

Representante de Área de la Dirección de Desarrollo Académico y Docente

Ma. Guadalupe Serrano Torres

Representante de Área de la Dirección Económico-Administrativa

Roberto Gutiérrez Guerra

Representante de Área de la Dirección de Tecnologías Emergentes Industriales e Informáticas

Anahí Torres Tinoco

Representante de Área de la Dirección de Tecnologías Emergentes Industriales e Informáticas

J. Guadalupe Santos Gómez

Representante de Área de la Dirección de Tecnologías Emergentes Industriales e Informáticas

Mayra Verónica Barrera

Figueroa

Representante de la Unidad Académica del Sureste





Carta editorial

Reaxión Año 11, número 2

La lectura es transformadora, por lo que leer un artículo de divulgación científica, conduce a las personas a enterarse de algo o profundizar en un tema, y sobre esa base tomar algún curso de acción. En ese sentido tiene la posibilidad de generar varios acontecimientos en el público lector: se puede plantear interrogantes a partir de la información, tal vez identifique retos y también, quizá de manera implícita, perciba una invitación a continuar investigando sobre el tópico, y una vez conocida una parte de la realidad, asumir un compromiso tendiente a mejorarla.

En la trigésima segunda edición de la revista, consideramos que justamente la comunidad lectora podría verse invitada a la acción.

Así es como en el eje de conocimiento de la Biotecnología y las Ciencias Agropecuarias, en el artículo **Identificación, clasificación y control de malezas en el cultivo de trigo (*triticum*), en tres ejidos de Salvatierra, Guanajuato**, es posible dimensionar las herramientas para combatir la gran variedad de plantas que interfieren con la producción de granos. Se documenta su imagen, nombre común y científico, así como la forma que generalmente usan las y los agricultores para tratar de erradicar la verdolaga, la mostacilla, el quelite y la avena, entre otras especies de las llamadas malas hierbas, y se discute cómo la utilización de herbicidas, si bien son eficientes desde un punto de vista económico, podría generar afectaciones al suelo e incluso a los mantos freáticos. La lectura de esta colaboración invita a repensar las formas en que el ser humano enfrenta la necesidad de aumentar la producción de alimentos y la protección y gestión del medio ambiente.

Por otra parte, en el área de conocimiento de Biología y Química, ante el fenómeno de la contaminación producida por la actividad humana, y los consecuentes impactos en el cambio climático, los autores de **Monitoreo y caracterización estequiométrica de un FotoAirLift como postratamiento a un sistema de tratamiento biológico de aire** muestran que los procesos biológicos a través de microalgas son una opción viable, ya que estos organismos fotosintéticos pueden realizar la captura del carbono y utilizarlo para producir compuestos orgánicos, y este proceso de fijación puede incluso aprovecharse en diversas industrias, desde los biocombustibles y productos cosméticos hasta algunos de tipo farmacéutico.



Sin duda son fascinantes las posibilidades de los cultivos mixtos de microorganismos para ayudar a mejorar la calidad atmosférica y contribuir sustentablemente en diversos usos industriales.

En cuanto al eje de conocimiento de las Ingenierías, en **Propuesta y diseño de estrategias de control para la organización del almacenamiento de materiales peligrosos**, las personas autoras destacan la importancia de aplicar un método de clasificación en el almacén, tal es el caso del sistema ABC, donde se establecen las categorías de valor, rotación y, en el caso que les ocupa (empresa dedicada a las pinturas y recubrimientos de alto rendimiento), el grado de las sustancias químicas peligrosas; bajo estos criterios, y considerando las normas oficiales mexicanas en materia de seguridad laboral, proponen la distribución y diseño de las áreas donde se controlan los inventarios. Tanto desde el punto de vista económico como organizacional, es imprescindible el análisis y la reflexión sobre las formas de fortalecer las cadenas logísticas y de suministros.

También en el eje de las Ingenierías, y referente a una ensambladora automotriz, los autores de **Plan de mantenimiento predictivo con análisis de tendencias de vibraciones para mejorar la gestión**, a partir de la observación de que en la factoría existen paros no programados debidos a fallos en la maquinaria, reportan cómo utilizaron herramientas de solución de problemas y medición de indicadores (tales como la técnica de los cinco porqués, los indicadores clave de desempeño, el levantamiento de información de cada uno de los equipos, el análisis de tendencias de vibraciones), concluyeron en la implementación de una propuesta que se anticipa a los desperfectos, lo cual mejora el cumplimiento de objetivos por parte del área de mantenimiento, se incrementa el tiempo de vida útil de las máquinas rotativas y con ello se incide favorablemente en la gestión de la empresa. La productividad es un tópico siempre desafiante, pero lleno de posibilidades.

Invitamos a la comunidad académica para que, a partir de la lectura de las colaboraciones que integran esta edición, identifique la continuidad de estos temas en cuanto a sus posibilidades teórico metodológicas y, en lo posible, asuma un curso de acción.

Atentamente.

Comité Editorial de Reacción



Índice

7. Identificación, clasificación y control de malezas en el cultivo de trigo (*triticum*), en tres ejidos de Salvatierra, Guanajuato

20. Monitoreo y caracterización estequiométrica de un FotoAirLift como postratamiento a un sistema de tratamiento biológico de aire

30. Propuesta y diseño de estrategias de control para la organización del almacenamiento de materiales peligrosos

40. Plan de mantenimiento predictivo con análisis de tendencias de vibraciones para mejorar la gestión

REAXXION



Identificación, clasificación y control de malezas en el cultivo de trigo (*triticum*), en tres ejidos de Salvatierra, Guanajuato

Identification, classification and control of weeds in the cultivation of wheat (triticum), in three zones of Salvatierra, Guanajuato

Maribel Ramos Aguilar, Walter Manuel Zúñiga Maldonado, Marcia Maribel Martínez-Scott y Davino Pérez Mendoza /

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra/ Instituto Tecnológico de Roque

Resumen

Se presenta la investigación respecto a la identificación de las malezas encontradas y el control de estas en cultivos de trigo en tres ejidos pertenecientes al municipio de Salvatierra, Guanajuato, México. Se hizo la búsqueda en diferentes parcelas, se hicieron capturas fotográficas y se realizó el análisis comparativo para identificarles, verificando en la base de datos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Además se investigó su fenología y el tipo de productos que utilizan en la región las y los productores para su control. Como resultado se identificaron 18 malezas, de las cuales se investigó su nombre científico, su periodo de floración y la forma de erradicación. Las malezas que tuvieron mayor incidencia en los cultivos de trigo fueron: la verdolaga (*Portulaca oleracea*), la mostacilla (*Brassica rapa*), el quelite ledo (*Chenopodium berlandieri*) y la avena (*Avena fatua*).

Palabras clave: control, identificación, clasificación, malezas.

Abstract

This article presents the research regarding the identification of the weeds found and their control in wheat crops in the three ejidos belonging to municipality of Salvatierra, Guanajuato, Mexico. The search was carried out in different plots, photographic captures were made and a comparative analysis was undertaken to identify them, verifying the database of the National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO). In addition, its phenology and the type of products that producers use in the region for its control were investigated. As a result, 18 weeds were identified, of which their scientific name, flowering period and the method of eradication were investigated. It is important to mention that the weeds that had the greatest incidence in wheat crops were: purslane (*Portulaca oleracea*), mustacilla (*Brassica rapa*), quelite ledo (*Chenopodium berlandieri*) and oats (*Avena fatua*).

Keywords: control, identification, classification, weeds.



Introducción

En la región del noroeste de Salvatierra Guanajuato, se puede apreciar a simple vista la importancia de la producción de gramíneas tales como trigo, frijol y maíz; se trata de productos agrícolas que son muy comercializados y de los cuales depende el sustento económico y alimenticio de muchas familias.

Se tiene un especial interés en el caso del trigo, ya que es utilizado cotidianamente en la elaboración de alimentos como el pan, pero también es comercializado para la producción de harinas (que a su vez son utilizadas para hacer sopas, galletas, tortillas y otros alimentos); por lo tanto, es muy importante en la dieta de las y los pobladores de la zona de estudio.

Por otra parte, Ávila *et al* (ca. 2021), mencionan que el trigo “es una de las primeras especies vegetales que el ser humano domesticó y utilizó para su alimentación, lo que fue factor importante para los primeros asentamientos humanos en los inicios de las primeras civilizaciones de Asia, Europa y África”. Asimismo, los autores mencionan que “en la producción total de cereales, solo es rebasado en su producción por el maíz, y es la principal fuente de carbohidratos en el consumo humano”¹.

De acuerdo con lo que reportan Labrada, Caseley y Parker (1996), en un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el trigo es el cereal más comercializado a nivel mundial, considerándose un consumo de 67.2 kilogramos per cápita habiendo mantenido una producción constante a través de los años, colocándose en el tercer lugar en la escala mundial de los granos². Por su parte, Retes *et al.* (2022) señalan que se considera una de las fuentes más importantes de proteínas vegetales y calorías y es el cultivo de mayor superficie

y el segundo cereal más producido después del maíz a nivel mundial³.

Para el año 2021, los principales países productores de trigo fueron la Unión Europea con 135.8 millones de toneladas, seguida de China con 134.2 millones, India con 107.6 millones, Rusia con 83.3 millones y Estados Unidos con 49.7 millones de toneladas. De igual manera destacan Canadá con 35.2 millones, Australia con 30.0 millones seguidas de Pakistán con 25.7 millones y Ucrania con 25.5 millones de toneladas, todas bajo la medida de toneladas métricas; México produjo 3.1 millones de toneladas (Retes *et al.*, 2022)³.

De acuerdo con el Foreign Agricultural Service (FAS), del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, en aquel país este cereal es considerado el segundo más importante en la dieta de los mexicanos, ocupa el sexto lugar por superficie cosechada y por volumen de producción está entre los principales cultivos anuales y perennes en México, ya que tiene una gran importancia en mercados locales e industrias procesadoras, siendo los primeros seis productores los estados de Sonora, Guanajuato, Sinaloa, Baja California, Michoacán y Jalisco⁴.

Por su parte, Abadía *et al.* (2017) comentan que durante el ciclo de vida del cultivo de trigo ocurren dos procesos simultáneos: crecimiento y desarrollo. El crecimiento involucra aumento de la biomasa, mientras que el desarrollo hace referencia a la sucesión de estados morfológicos o fisiológicos que se presentan durante el ciclo de vida del cultivo. Ambos procesos están regulados genéticamente e influenciados por el ambiente. Por ello, el patrón de crecimiento y la sucesión de los estados de desarrollo (fenología) puede diferir entre variedades y, dentro de ellas, según las condiciones ambientales⁵.



Existen diversos factores que ocasionan pérdidas económicas, reducción de productividad y calidad en el cultivo de trigo. Uno de los factores más importantes son las malezas, ya sea que actúen de una manera directa o indirecta en el desarrollo de los cultivos, traen consigo una lucha de espacio y nutrientes en las plantas.

Malezas pueden considerarse todas aquellas plantas que provocan cambios desfavorables de la vegetación y que afectan el aspecto estético de las áreas de interés a preservar. El mayor conocimiento del daño de las malezas proviene de las evaluaciones de pérdidas de cosechas agrícolas. De manera general, se acepta que las malezas ocasionan una pérdida directa aproximada de 10 % de la producción agrícola. En cereales, esta pérdida es del orden de más de 150 millones de toneladas (FAO, 1996)².

Cuando la presencia de malezas en un cultivo es grande, puede causar daño significativo a éste, pues compiten por agua, luz, espacio y nutrientes a la vez que favorecen el desarrollo de otras plagas como hongos, insectos y nemátodos que causan daños al cultivo, además de dificultar las labores agrícolas.

Así mismo, la FAO señala que “la competencia de la planta cultivable puede también influir como agente de selección de malezas, que son capaces de un establecimiento sincronizado con el cultivo a ritmos rápidos de crecimiento”². Además están las prácticas de deshierbe que se aplican durante la cosecha que, aunque erradican la maleza al momento, generan el esparcimiento de semillas en el suelo, lo que provoca que éstas se puedan propagar nuevamente.

El manejo de las malezas puede ser abordado desde dos ópticas: la que se podría llamar “reduccionista” o de “tecnología de

insumos” —que implica el uso de cultivares de trigo competitivos y de alto potencial de rendimiento, herbicidas de alta eficacia—, o mediante la aplicación de “tecnología de procesos”, que involucra el conocimiento de las relaciones competitivas entre malezas y cultivos. Las malezas ejercen competencia sobre el cultivo, la cual puede definirse como el proceso por el cual las plantas comparten recursos provistos en cantidades insuficientes para satisfacer sus requerimientos conjuntos, lo que causa una reducción en su supervivencia, crecimiento o su habilidad reproductiva. El efecto más relevante es la pérdida de rendimiento en grano (Abadía et al., 2017)⁵.

Para hacer un manejo adecuado de las malezas es importante conocerlas e identificarlas adecuadamente, ya que algunas tienen características que pueden ser aprovechadas, tal es el caso del diente de león (*Taraxacum officinale*) que tiene propiedades nutricionales, o el chicalote (*Argemone munita*), que puede ayudar a ablandar el suelo. Es imprescindible comprender que, como todas las plantas, compiten por luz, agua, nutrientes y espacio, es importante realizar el deshierbe en el momento preciso, es decir, en el periodo crítico de competencia que se centra sobre todo en la etapa inicial de desarrollo del cultivo, ya que pasado este periodo la aparición de malezas no representa un riesgo de atención prioritaria (Divulgación-CIMMYT, 2021)⁶.

En la actualidad se han utilizado distintos métodos para erradicar las malezas, predominando el tratamiento químico; sin embargo, el uso intensivo de agroquímicos también ha impactado en la contaminación de los suelos, ya que muchas veces las aplicaciones de dichas sustancias son generalizadas sin entender propiamente el actuar de las mala hierbas y sin prevenir



las afectaciones a los recursos naturales, así como a los organismos vivos que pueden ser de utilidad para la agricultura.

De acuerdo con Bórtoli *et al.* (2012) los herbicidas son sustancias que tienen un efecto importante en los ecosistemas ya que generan una alteración de los suelos directa o indirectamente, modificando el microbiota por lo que pueden alterar diversos componentes tales como patógenos de plantas, antagonistas, micorrizas o comunidades microbianas⁷.

Una de las medidas para afrontar problemas existentes como la contaminación del agua y del aire, la erosión del suelo y la vulnerabilidad a sequías o inundaciones, radica en la reducción del uso de agroquímicos. Por dichos motivos es importante primeramente saber el tipo de especies de malezas que se desarrollan en el cultivo de trigo de la región, conocer sus características fenológicas, para así decidir cuál es el método de control más viable y que no interfiera con el rendimiento potencial del cultivo y los ingresos del productor o productora.

Objetivos

Objetivo general

Identificar los tipos de malezas presentes en el cultivo de trigo en tres ejidos productores de Salvatierra, Guanajuato, mediante la comparación y descripción de sus características principales.

Objetivos específicos

- Encontrar diferentes tipos de malezas en el cultivo de trigo.
- Generar un acervo fotográfico de las malezas identificadas.
- Verificar el tipo de maleza encontrada en bases de datos existentes.

- Elaborar una tabla descriptiva acerca de las características de las malezas encontradas.
- Saber cuáles son las formas de erradicación de malezas que utilizan las y los agricultores de la zona de estudio.

Planteamiento del problema

En la región existe una diversidad de cultivos importantes para el consumo y para la venta, uno de estos es el trigo; sin embargo, existen algunos factores que inciden en la producción de este grano. Uno de esos factores que cobra mucha importancia son las denominadas malezas o malas hierbas, asimismo la forma de erradicarlas ha traído consigo otros problemas tales como la contaminación química del producto y la resistencia a los herbicidas.

En el campo de las malezas es importante investigarlas con la finalidad de encontrar la manera más eficiente de controlarlas y en algunos casos erradicar aquellas que afectan a los campos agrícolas. Sin embargo, la investigación se ha enfocado principalmente en la erradicación drástica por medio de agroquímicos, esto implica una alta inversión en energía, a su vez una disminución de insectos benéficos que fungen como una alternativa natural al combate de otras plagas dañinas, así como pérdida de biodiversidad.

De acuerdo con Pholan (2015), para desarrollar un apropiado manejo de malezas, en una agricultura sostenible, es necesario incluir investigaciones básicas de biología de malezas. Estos estudios, establecen la base fundamental para conocer mejor sus poblaciones, crecimiento y desarrollo, interacciones con los aspectos bióticos y abióticos del agroecosistema, fenología, interferencia con los cultivos, alelopatía y competencia potencial de las adventicias (banco de semillas)⁸.



Por lo tanto, es importante conocer primeramente cuál es el tipo de malezas que se pueden desarrollar en los cultivos, en este caso en trigo, saber sus características y cuáles son los primeros indicios de la presencia de malezas resistentes en las parcelas para realizar su manejo adecuado y los protocolos para confirmar la resistencia.

Método de trabajo

La identificación y clasificación de las malezas se llevó a cabo en la región comprendida por tres ejidos del municipio de Salvatierra, Guanajuato, específicamente en la zona que contempla las comunidades de El Potrero, Maravatío del Encinal y San Nicolás de los Agustinos (Figura 1). Por su importancia agrícola para el estado de Guanajuato se decidió tomar en cuenta esta zona, la cual se distingue por la producción de granos básicos, entre los cuales se encuentra el trigo. Este sector también ha sido catalogado como parte del “corazón del granero del Bajío”, por su vasta producción de frijol, maíz y trigo. De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) la zona entra dentro de las áreas históricamente productoras con nivel alto y/o medio de potencial productivo de trigo⁹, de acuerdo con el Plan Agrícola Nacional 2017-2030.

Es importante destacar que no existe un trabajo de identificación y clasificación de malezas en trigo como antecedente en esta región en específico, por tal motivo el presente estudio adquiere relevancia, pues se ve necesario conocer cuáles son los tipos de malas hierbas que predominan y sus características, antes de ejercer algún método de control.

La investigación se realizó por medio de un enfoque cualitativo. En la investigación cualitativa interesa la representatividad, ya que es el procedimiento metodológico

de conquista-construcción-comprobación teórica desde una perspectiva holística, pues se trata de comprender el conjunto de cualidades interrelacionadas que caracterizan a un determinado fenómeno (Álvarez-Gayou, *et al.*)¹⁰.

En el caso de la selección de las parcelas para la realización del estudio se utilizó un muestreo por conveniencia en un total de 50 parcelas: 20 de San Nicolás de los Agustinos, 10 de El Potrero y 20 de Maravatío del Encinal, las cuales tenían establecido trigo. Se hicieron recorridos caminando y se fueron obteniendo imágenes de los tipos de malezas encontradas en las parcelas elegidas.



Figura 1. Área de estudio.

Fuente: Google Maps 2023

Después, con el apoyo de las y los agricultores del área, se procedió al registro del nombre común. El paso siguiente fue la revisión bibliográfica, con la finalidad de encontrar información acerca de cada una de ellas y confirmar los nombres. Se clasificaron de acuerdo con su nombre común y científico, así como su periodo de desarrollo. Tras la identificación, se

consultó el repositorio de malezas de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)¹¹ con el fin de fundamentar la información acerca de las malas hierbas encontradas.

Para la obtención de información acerca de la forma de control o erradicación de las malezas, durante los recorridos se obtuvo información de voz de las y los agricultores que se encontraban en sus parcelas y a algunos otros(as) se les buscó en sus hogares.

Resultados

En la Tabla 1 Se presentan las malezas más comunes encontradas en el cultivo de trigo en la zona. Además se incluyen los nombres de los agroquímicos más utilizados para la erradicación de dichas malezas, los cuales se describen como herbicidas para hoja ancha y angosta, desecantes, algunos sistémicos y otros de contacto.

Tabla 1. Descripción de malezas en trigo encontradas en la zona noroeste de Salvatierra, Gto. Nombre científico, nombre común y periodo de floración, comparadas y sustentadas en CONABIO (2016)¹¹

Nombre científico	Nombre común	Periodo de floración	Forma de erradicar por los agricultores de la zona
<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga	Abril a julio.	Amina 2,4-D, MCPA, atrazina.
<i>Brassica rapa</i>	Mostaza, mostacilla.	Durante todo el año.	Paraquat, Diurón.
<i>Chenopodium berlandieri</i>	Quelite ledo, quelite blanco, quelite cenizo.	Mayo a octubre	Amina 2,4-D, MCPA.
<i>Sonchus oleraceus</i>	Lechuguilla común, falso diente de león, cardo, cerraja o cerrajón.	Durante todo el año.	Amina 2,4-D, MCPA Nicosulfuron +a trazina Glifosato
<i>Aldama dentata</i> Llave & Lex.	Garañona, hierba amarilla, hierba de salud, fresadilla.	Durante todo el año.	Combinados de s-metolaclor, atrazina y mesotrione.
<i>Malva parviflora</i>	Malva, quesillo.	Durante todo el año.	Amina 2,4-D , MCPA
<i>Ipomea purpurea</i> L.	Queiebraplato malo, corrilluela, enredador	Durante la mayor parte del año.	Amina 2,4-D o MCPA.
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	Estrellita, aceitilla chica, chía real, manzanilla.	Durante casi todo el año.	Amina 2,4-D, MCPA, atrazina.
<i>Taraxacum officinale</i> G.H.	Achicoria amarga, diente de león.	Durante todo el año.	Glifosato, MCPA, Amina 2,4-D.



<i>Senecio pterophorus</i>	Hierva alada, Margarita de Campo.	Ocurre generalmente en primavera (abril y mayo).	Glifosato, amina 2,4-D, picloram.
<i>Oenothera rosea</i>	Hierba del golpe	A lo largo de todo el año.	Glifostao, amina 2,4-D, picloram.
<i>Lepidium virginicum</i>	Cuisique, chahuistillo, chinta, hierba del gato, hierba del zorrillo, huisique, lentejilla, zorrillo.	Durante todo el año.	Glifostao, amina 2,4-D, picloram.
<i>Setaria adhaerens</i>	Zacate temprano, cola de zorra, pega ropa, pegajosilla, zacate espinudo.	Abril a noviembre.	Glifosato Atrazina, picloram, amina 2,4-D.
<i>Malvastrum coromandelianum</i>	Huinare chico, huinare, huinarillo, quesito.	Durante todo el año.	Glifostao, amina 2,4-D, picloram.
<i>Melochia Pyramidata</i>	Guinar, escobilla amarilla.	Febrero a octubre.	Glifosato, amina 2,4-D, picloram.
<i>Rumex pulcher L.</i>	Espinaca vinagrera, romaza silvestre, acedera, lengua de vaca cimarrona.	Final de la primavera.	Glifosato, MCPA, amina 2,4-D, picloram.
<i>Avena Fatua</i>	Avenilla, Avena silvestre, avena cimarrona.	Ciclo entre marzo y diciembre.	Glifosato, amina 2,4-D, picloram, MCPA.

Las imágenes que se presentan en las figuras 2-16 fueron capturadas en el área de estudio y son representativas de las malezas más comunes encontradas:

Las imágenes que se presentan en las figuras 2-16 fueron capturadas en el área de estudio y son representativas de las malezas más comunes encontradas:



Figura 2. Verdolaga
(*Portulaca oleracea*)



Figura 3. Mostacilla
(*Brassica rapa*)



Figura 4. Quesillo
(*Malva parviflora*)



Figura 5. Hierba alada
(*Senecio pterophorus*)



Figura 6. Quelite ledo,
quelite cenizo
(*Chenopodium berlandieri*)



Figura 7. Cola de zorra
(*Setaria adhaerents*)



Figura 8. Quiebra plato malo
(*Ipomea purpurea* L.)



Figura 9. Lengua de vaca cimarrona
(*Rumex pulcher* L.)



Figura 10. Hierba del gato
(*Lepidium virginicum*)



Figura 11. Hierba del golpe
(*Oenothera rosea*)



Figura 12. Quelite colorado o puerquero
(*Amaranthus hybridus*)



Figura 13. Huinare chico
(*Malvastrum coromandelianum*)



Figura 14. Chicalote
(*Argemone mexicana* L.)



Figura 15. Guinar, escobilla amarilla
(*Melochia Pyramidata*)



Figura 16. Avenilla
(*Avena fatua*)

Ahora se muestran dos imágenes de los cultivos, tomadas en campo



**Figura 17. Cultivo de trigo antes de espigar. Imagen tomada en el ejido de El Potrero.
Elaboración propia**



**Figura 18. Cultivo de trigo con espiga y afectado por avenilla.
Fuente: elaboración propia**



Discusión

Como se puede apreciar, existen diferentes tipos de malezas características de la región, en la zona de estudio en su mayoría fueron similares. Cabe destacar que en la región de Maravatío del Encinal no se visualizó la presencia de quiebra plato malo, sin embargo, esta maleza tuvo mucha presencia en las parcelas de la ladera del Río Lerma en la zona de El Potrero, lugar donde también se detectó mucha presencia de chicalote. Asimismo, en la zona comprendida entre San Nicolás de los Agustinos y El Potrero existe más presencia de huinar chico, quelite rojo, cola de zorra y verdolaga. En las parcelas de las tres zonas hubo presencia de avenilla, de mostacilla, hierba del gato y lengua de vaca.

En el caso del quelite ledo y la hierba alada, se encontró más presencia de estas especies en los ejidos de El Potrero y San Nicolás de los Agustinos. La hierba del golpe solo fue vista en las parcelas correspondientes al ejido de El Potrero; es importante señalar que esta maleza crece a orilla de caminos. CONABIO (2020) menciona que estas malezas se adaptan fácilmente al ambiente, a diferentes tipos de suelo y poseen gran facilidad de diseminación y propagación, se desarrollan en climas cálidos o templados, y requieren de poca atención¹². Asimismo, la composición y abundancia de especies, cambian en respuesta al manejo del cultivo y del suelo.

En cuanto a las formas de control de estas malezas, todas y todos los agricultores entrevistados mencionaron el uso de productos químicos, no para control sino para erradicación. Entre los tipos comunes de herbicidas se encontraron: Amina 2,4-D, Glifosato, Picloram, Atrazina, Diuron, MCPA y Paraquat, de acuerdo con el tipo de maleza, ya sea de hoja ancha o angosta. Mencionaron que es más caro hacer

labores culturales para eliminar o reducir las malezas, tales como: la contratación de personas (peones) que corten con sus manos u otra herramienta las malezas, la rotación de cultivos, el uso de la cobertura viva, las asociaciones de cultivos o el acolchado. Por lo que aplicar herbicidas es más barato y por lo tanto para ellos es más favorecedor, pero ignorando los efectos de estos sobre los recursos naturales y los problemas a la salud.

Como se puede apreciar, se utilizan diferentes herbicidas de acuerdo con el tipo de maleza, sin embargo, hay agricultores que creen que es mejor combinar varios y eso les dará más efectividad, también mencionaron que los ingenieros de las casas comercializadoras les indican cuáles usar y a veces les dan varios, lo cual indica que para afrontar los problemas de contaminación es importante reducir el uso de agroquímicos existentes.

Con relación a lo anterior, Bórtoli et al. (2012) afirman que “Los herbicidas pueden alterar la estructura y el funcionamiento del suelo mediante efectos directos sobre varios componentes de su microbiota. Muchos autores han encontrado un efecto perjudicial del glifosato sobre la calidad del suelo y la diversidad microbiana”⁷.

Cabe destacarse que Greenpeace (2023) menciona que el glifosato ha sido categorizado como probablemente cancerígeno para los seres humanos¹³ de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, basándose en una fuerte evidencia de que es cancerígeno para los animales y que también se sospecha que actúa como un disruptor endócrino y que es tóxico para la reproducción.



Conclusiones

Asimismo, se tienen evidencias de que los residuos de glifosato pueden contaminar el agua, al ser absorbidos por el suelo hacia los mantos acuíferos, o arrastrados por la lluvia hasta los cuerpos de agua, por lo cual es importante citar a Guerrero (2021), quien explica un estudio de la Universidad Emory, en Atlanta, en el año 2019, el cual consistió en la revisión de 13 investigaciones sobre las consecuencias carcinogénicas en modelos animales (ratones) expuestos al glifosato, identificando 37 casos que asocian la aparición de tumores cancerígenos con la exposición crónica a este compuesto y que este hallazgo confirmó investigaciones anteriores en células humanas y de otros animales, donde se detectaron que los daños del glifosato al ADN pueden desembocar en varios tipos de cáncer¹⁴.

Para Zabaloy (2009), el metsulfurón-metil tiene efectos mínimos sobre la comunidad microbiana, afectando la respiración en un suelo con pH ligeramente alcalino. Con las dosis más bajas utilizadas de glifosato y 2,4-D tienen efectos agudos, transitorios y reversibles, sobre la actividad microbiana, la biomasa activa, la abundancia de bacterias y la riqueza metabólica¹⁵.

En el caso del herbicida compuesto por el ingrediente 2, 4-D, de acuerdo con la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR)¹⁶ se observaron efectos respiratorios (nariz y pulmones) y en el sistema nervioso de personas que intencional o accidentalmente tragaron grandes cantidades de 2,4-D. Es improbable que estos efectos graves sucedan a los niveles a los cuales el 2,4-D se encuentra, por lo general, en el medioambiente. Estudios en animales que recibieron 2,4-D durante el embarazo encontraron un peso corporal bajo entre las crías. También se observó en las crías algunos cambios de comportamiento.

El objetivo de este estudio fue la identificación, clasificación y formas de control de plantas competidoras que se encuentran en el cultivo de trigo en la región comprendida por tres ejidos del municipio de Salvatierra: El Potrero, Maravatío del Encinal y San Nicolás de los Agustinos. El estudio se hizo mediante un muestreo por conveniencia y se seleccionaron diferentes parcelas de cada ejido.

Se realizaron recorridos caminando y se tomaron fotografías de diferentes tipos de malezas. Posteriormente se buscó información acerca de su nombre común y científico, así como de su tiempo de desarrollo. Se realizó la verificación de la información por medio del repositorio de CONABIO.

En consecuencia, se identificaron diferentes tipos de malas hierbas y se realizó una tabla de clasificación, así como un compendio de las diferentes imágenes capturadas. Cabe resaltar que se apreciaron diversos niveles de densidad y distribución. Hubo malezas tales como el quelite ledo y la hierba alada con presencia en los tres ejidos, debido a sus condiciones de adaptación.

A través de este trabajo se tiene un antecedente para futuras investigaciones, ya que hasta el momento no se contaba con un estudio tan enfocado en las malezas en trigo en la zona elegida. Este reporte permite dilucidar que es necesario darle la atención al problema de las malezas, por lo que es importante tener programas de monitoreo y control. Existen programas de control de plagas y enfermedades, asimismo se requiere trabajar arduamente en la capacitación y concientización de las y los productores agrícolas, dando a conocer proyectos de investigación, así como publicación de trabajos científicos relacionados con el actuar de las malezas y cómo combatirlas de forma adecuada.



Agradecimientos

Se desea dar agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra por el apoyo brindado en la realización de esta investigación, así como al Instituto Tecnológico de Roque el cual se encuentra siempre abierto a las relaciones de colaboración entre nuestras instituciones. También se agradece a las autoridades ejidales de la zona de estudio por su apertura, así como a las y los campesinos que permitieron la toma de imágenes de sus parcelas, y por la disposición para responder a nuestros cuestionamientos.

Referencias

1. ÁVILA MIRAMONTES, José Alberto; Ávila Salazar, Jesús Manuel; Rivas Santoyo, Francisco José y Martínez Heredia, Damián. *El cultivo de trigo*. [En línea]. Universidad de Sonora, México. Departamento de Agricultura y Ganadería. ca. 2021. [Fecha de consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20TRIGO.pdf>
2. LABRADA, L., Caseley, J. C. y Parker, C. *Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal* – 120. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1996. [Fecha de consulta: 10 de julio de 2023]. ISBN 92-5-303427-0 Disponible en <https://www.fao.org/3/T1147S/t1147s00.htm#Contents> ISBN 92-5-303427-0
3. RETES, Rafael; Moreno, Salomón; Martín, Martha; Ibarra, Fernando Arturo y Caughey, Diana Miriam. Determinación de la rentabilidad de trigo en Sonora ciclo 2021-2022. *Revista Mexicana de Agronegocios*. [En línea]. Vol. 50, 2022. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C., México. [Fecha de consulta: 11 de julio de 2023]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14173239009> ISSN: 1405-9282.
4. FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. 2021. *Mexico. Grain and Feed Annual*. [En línea] U.S. Department of Agricultura. 2021. [Fecha de consulta: 15 de julio de 2023]- Disponible en: <https://www.fas.usda.gov/regions/mexico>
5. ABADIA, Bernadette et al. *Manual del cultivo de trigo*. [En línea]. 1a ed. compendiada. Acassuso: International Plant Nutrition Institute. 2017. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2023]. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0902e/9f61f86f928f631e0325830e006c3082/\\$FILE/Manual%20de%20Trigo%20Cap%201.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0902e/9f61f86f928f631e0325830e006c3082/$FILE/Manual%20de%20Trigo%20Cap%201.pdf) ISBN 978-987-46277-3-5
6. DIVULGACIÓN-CIMMYT. *La importancia de conocer las malezas*. [En línea]. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2021. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-importancia-de-conocer-las-malezas/>
7. BÓRTOLI, Paula; Verdenelli, Romina; Conforto, Cinthia; Vargas, Silvina y Meriles, José M. Efectos del herbicida glifosato sobre la estructura y funcionamiento de comunidades microbianas de dos suelos de plantaciones de olivo. *Ecología Austral*. [En línea]. Núm. 22, pp. 33-42. Abril 2012. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2023]. Disponible en: https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1263/634 ISSN 0327-5477.
8. POHLAN, Jurgén. La importancia de las malezas en una agricultura sostenible del trópico. [En línea]. *Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics*. 2015. [Fecha de consulta: 12 junio de 2023] Disponible en <https://www.researchgate.net/profile/Juergen-Pohlan/publication/282574299>
9. SAGARPA. *Trigo grano cristalino y harinero*. [En línea] Planeación Agrícola Nacional (2017-2030). 2017. [Fecha de consulta 20 de julio de 2023] Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sico-Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf
10. ÁLVAREZ-GAYOU Jurgenson, Juan Luis; Camacho y López, Salvador Martín; Maldonado Muñiz, Gabriela; Trejo García, Claudia Átala; Olgún López, Abigail y Pérez Jiménez, Maribel. *La investigación cualitativa*. [En línea]. s. f. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: UAEH. [Fecha de consulta: 6 de julio de 2023]. Disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n3/e2.html>
11. CONABIO. Malezas de México. [En línea]. [Sin fecha] [Consulta: 10 de junio de 2023.] Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>
12. CONABIO. Quelites. [En línea]. *Biodiversidad mexicana*. CONABIO. (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Instituto de Biología de la UNAM. 2020.. México. Disponible en <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/quelites>
13. Greenpeace. *Glifosato*. [En línea]. 2023. Greenpeace Internacional [Fecha de consulta: 10 de julio de 2023] Disponible en <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/agricultura/glifosato/>
14. GUERRERO, Verónica. Glifosato ¿herbicida que no hace daño? [En línea]. 2021. *Ciencia UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México. [Fecha de consulta: 23 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://ciencia.unam.mx/leer/1089/glifosato-herbicida-que-no-hace-dano->
15. ZABALOY, María Celina. *Evaluación integrada del impacto de herbicidas sobre las comunidades microbianas de suelos agrícolas*. [En línea]. Tesis doctoral. 2009. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. Argentina. Disponible en <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/1955>
16. ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. ToxFAQs™ – 2,4-D. [En línea]. 2020. [Fecha de consulta. 1 de septiembre de 2023] Disponible en https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts210.html#:~:text=o%20la%20tierra-,;C%20puede%20el%20,4-D%20afectar%20mi%20salud,de%20,4-D

Fecha de recepción

11/08/2023

Fecha de aceptación

27/09/2023

Fecha de publicación

31/01/2024

Monitoreo y caracterización estequiométrica de un FotoAirLift como postratamiento a un sistema de tratamiento biológico de aire

Monitoring and stoichiometric characterization of a AirLift Photoreactor as post-treatment to a biological air treatment system

Luis Alfonso Torres Torres y José Octavio Saucedo Lucero /
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC)

Resumen

Se evaluó el desempeño de un reactor FotoAirLift (FAL) inoculado con un consorcio de microalgas/bacterias, acoplado como postratamiento a un biofiltro de lecho escurrido (BTF), que trata vapores de acetato de etilo (EA), durante 36 días de operación respecto a tasas de captura de dióxido de carbono (CO_2) y producción de oxígeno (O_2), además de la caracterización estequiométrica en las diferentes etapas operacionales. El FAL operó con un tiempo de residencia del gas (TR) de 57 s y cargas iniciales de CO_2 producido en BTF (IL) de 1.61 ± 0.60 , 2.32 ± 0.78 y 2.87 ± 1.11 $\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$. La máxima capacidad de captura (FC) se registró a una IL de $1.53 \text{ g m}^{-3} \text{h}^{-1}$ en la etapa I con $7.36 \text{ g m}^{-3} \text{h}^{-1}$ y una producción de O_2 (ρO_2) de $496.86 \text{ g m}^{-3} \text{h}^{-1}$.

Palabras clave: CO_2 ; FotoAirLift; postratamiento; biomasa; estequiometría.

Abstract

The performance of a FotoAirLift (FAL) reactor inoculated with a microalgae/bacteria consortium, coupled as a post-treatment to a drained bed biofilter (BTF) that treats ethyl acetate (EA) vapors, was evaluated during 36 days of operation with respect to carbon dioxide (CO_2) capture rates and oxygen (O_2) production, in addition to the stoichiometric characterization in the different operational stages. The FAL operated with a gas residence time (TR) of 57 s and initial loads of CO_2 produced in BTF (IL) of 1.61 ± 0.60 , 2.32 ± 0.78 and 2.87 ± 1.11 $\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$. The maximum capture capacity (FC) was recorded at an IL of $1.53 \text{ g m}^{-3} \text{h}^{-1}$ in stage I with $7.36 \text{ g m}^{-3} \text{h}^{-1}$ and an O_2 production (ρO_2) of $496.86 \text{ g m}^{-3} \text{h}^{-1}$.

Keywords: CO_2 ; PhotoAirLift; aftertreatment; biomass; stoichiometr



Introducción

En la atmósfera se encuentran con frecuencia una gran cantidad de compuestos, los cuales, una vez que llegan a su destino final de transporte, causan problemas en diversos ecosistemas, así como en la salud general de la población. Estos compuestos son principalmente emitidos por actividades humanas, a través de emisiones industriales en procesos productivos, emisiones de gases de combustión por vehículos y transporte público, generación de electricidad, así como actividades de ganadería, entre otros.

Entre estos compuestos destacan los orgánicos volátiles (COV) y los gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO_2), siendo estos los principales responsables del aumento en la temperatura global, en el caso de los COV, de la formación de smog fotoquímico, una neblina oscura que se observa en áreas urbanizadas. Estos contaminantes atmosféricos pueden ser tratados mediante procesos biológicos, que son más económicos en términos de energía comparados con procesos fisicoquímicos, como la incineración.

Estos tratamientos implican la captura de CO_2 , en sistemas específicamente diseñados, para tratar fases gaseosas como los FotoAirLift (FAL), un reactor que consiste en una columna dividida verticalmente en zonas de subida y bajada que son alimentadas con burbujas de aire contaminado, lo que permite la mezcla del medio líquido y la exposición a la luz¹ (ver la Figura 1), utilizando cultivos de microalgas puros o mixtos, organismos fotosintéticos con una capacidad destacada para capturar el carbono en forma de CO_2 y utilizarlo como fuente de carbono para

generar compuestos orgánicos, como carbohidratos, proteínas lípidos, pigmentos entre otros, que conforman biomasa microalgal y oxígeno, en un proceso conocido como fijación de carbono² con aplicación industrial en producción de biocombustibles, fertilizantes, productos farmacéuticos, alimentos o cosméticos.

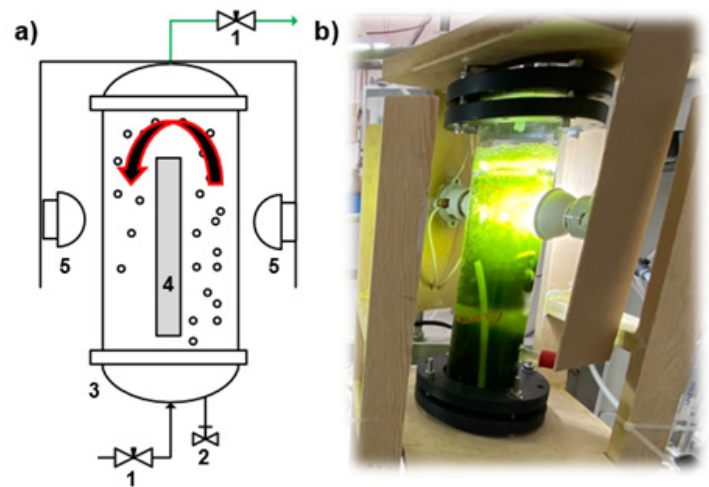


Figura 1. a) Arreglo experimental de FAL: 1) Válvula; 2) Puerto de muestreo de líquidos, 3) Columna; 4) Divisor (esponja de poliuretano); 5) Fuente de luz artificial. Fuente: elaboración propia. b) Imagen real de un FAL a escala laboratorio.

Fuente: imagen propia.

El presente trabajo aborda un panorama general sobre reactores cultivados con consorcios microbianos, utilizados en el tratamiento biológico de aire, condiciones necesarias para su desarrollo, así como para la captura de CO_2 en un sistema acoplado de un FotoArLift (FAL) como postratamiento a un Biofiltro de Lecho Escurrido (BTF) que trata vapores de acetato de etilo (EA).

Objetivo

Operar un FAL acoplado como postratamiento a un BTF que trata vapores de EA para la refinación de emisiones gaseosas respecto a captura de CO_2 y producción de oxígeno (pO_2).

Planteamiento del problema

Si bien los sistemas de tratamiento biológico para COV en fase gas ya han sido ampliamente estudiados, las emisiones residuales de estas tecnologías contienen CO_2 de origen biológico, proveniente de la degradación de estos compuestos. Estudios recientes para el tratamiento de EA reportan producciones de C- CO_2 de hasta ~ 700.4 g y 253.4 g en la operación total de biofiltros, por 231 y 171 días respectivamente^{3,4}.

Estos gases contribuyen a las emisiones totales de CO_2 , aumentando la temperatura global, los niveles del mar y derritiendo glaciares, todo esto provoca fenómenos meteorológicos extremos⁵, incluso se pronostica que para finales del actual siglo aumente entre 1.4 y 5.8 °C la temperatura media de la superficie del mar⁶. De acuerdo con Onyeaka *et al.*⁷ esto se debe principalmente a la contribución de procesos antropogénicos como los industriales con el 21 %, actividades agropecuarias 24 %, electricidad y producción de calor 25 %, construcción 6 %, transporte 14 % y otras energías 10 %. Los GEI son responsables del cambio climático global y en el caso del CO_2 representan hasta el 77 % de las emisiones totales⁸, aumentando a un ritmo del 2.2 % anual (Lim *et al.*²), sin mencionar que para el año 2040 las emisiones de estos gases aumentarán alrededor de un 30 % (Dobslaw y Ortlinghaus, 2020)⁹.

Método de trabajo

Inóculo y medio mineral

Se utilizó un consorcio mixto de microalgas/bacterias, obtenido de una muestra de lodos, proveniente del río Turbio en León, Guanajuato, México; previo al arranque del sistema se aclimató el consorcio durante 14 días, con aire atmosférico comprimido y medio mineral Bold Basal (BBMM) selectivo para microalgas, compuesto por macro y micronutrientes, así como una fuente de nitrógeno de nitrato (N-NO_3) adicionado como nitrato de sodio (NaNO_3) con ajuste a $\text{pH}=7$.

Configuración experimental de FAL

Se describe la configuración del sistema en la Figura 2, que consta de un FAL operado en semicontinuo con una esponja de poliuretano, para favorecer la distribución del gas, acoplado como postratamiento al BTF, de vidrio con 0.07 m de diámetro interno, 0.5 m de altura, irradiado con lámparas de luz LED blanca 4.8 W dentro de una caja con 0.8 mL de volumen efectivo y con agitación neumática.

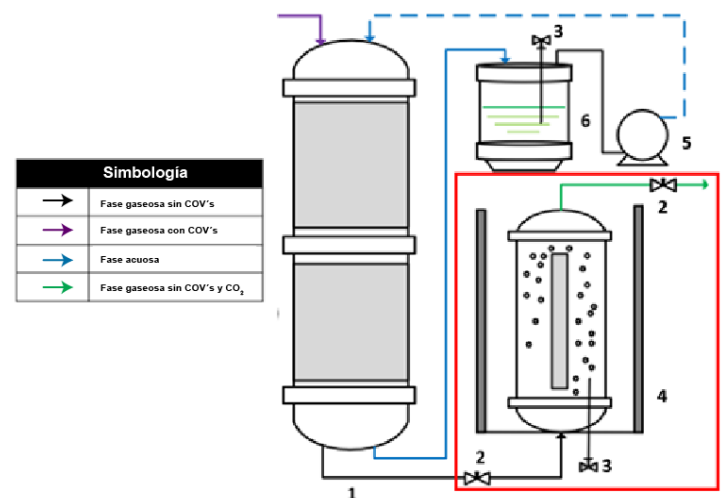


Figura 2. Esquema de FAL acoplado a un BTF. 1) BTF, 2) Válvula, 3) Puerto de muestreo de líquidos, 4) FAL, 5) Bomba peristáltica, 6) Reservorio de líquidos. Fuente: elaboración propia.



Operación del FAL acoplado a BTF

El arranque del sistema inició con la inoculación de los biorreactores con biomasa adaptada (BTF-FAL), posteriormente se establecieron flujos y concentraciones iniciales, así como presión y temperatura ambiente (20-25 °C y 1 atm). Se monitoreó la fase gaseosa, en términos de CO₂ y pO₂, pH y densidad óptica como contenido de biomasa (OD₆₈₅ y OD₄₄₀). El BTF como tratamiento principal, operó en estado estable para la degradación de vapores de EA con una eficiencia de remoción de ~70 % y bajos porcentajes de mineralización. En este sentido, la alimentación al FAL contenía CO₂ derivado de la conversión biológica de EA, así como muerte celular y concentraciones traza de EA no removido en el BTF; se mantuvo un flujo de aire a 0.85 L min⁻¹ y un tiempo de residencia del gas (TR) de 57 s en FAL. Se presentan las condiciones operativas del sistema de cada etapa operacional en la Tabla 1, así como las ecuaciones para la evaluación del desempeño¹⁰.

$$\frac{IL=(Q \times C_i)}{V} \quad (1)$$

$$\frac{FC=(Q \times (C_i - C_f))}{V} \quad (2)$$

$$\frac{pO_2=(Q \times (C_i - C_f))}{V} \quad (3)$$

Donde IL es la carga inicial de CO₂ producido en BTF (g m⁻³ h⁻¹), Q es el flujo de aire (m³ h⁻¹), C_i es la concentración inicial (g m⁻³), V es el volumen de reactor (m³), FC es la capacidad de captura de CO₂ (g m⁻³ h⁻¹), C_f es la concentración final (g m⁻³) y pO₂ es la producción de O₂ (g m⁻³ h⁻¹).

Donde IL es la carga inicial de CO₂ producido en BTF (g m⁻³ h⁻¹), Q es el flujo de aire (m³ h⁻¹), C_i es la concentración inicial (g m⁻³), V es el volumen de reactor (m³), FC es la capacidad de captura de CO₂ (g m⁻³ h⁻¹), C_f es la concentración final (g m⁻³) y pO₂ es la producción de O₂ (g m⁻³ h⁻¹).

Tabla 1. Condiciones operativas FAL

Etapa	Tiempo (días)	IL _{CO₂} (g m ⁻³ h ⁻¹)	pH	Intensidad de luz (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Q (L/min)	TR (s)
I	0-8	2.87 ± 1.11	6.49 ± 0.14	21.40 ± 1.77	0.85	57
II	9-18	2.32 ± 0.78	6.70 ± 0.18	19.87 ± 1.64	0.85	57
III	19-36	1.61 ± 0.60	6.57 ± 0.17	18.55 ± 0.29	0.85	57

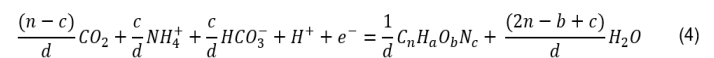
IL_{CO₂}: carga inicial de CO₂ producido en BTF; Q: flujo de aire; TR: tiempo de residencia del gas.

Monitoreo de gases

La concentración de CO₂ se midió mediante un sensor (CO₂METER), con método de detección Infrarrojo No Dispersivo (NDIR) y óptica chapada en oro, registrando unidades en partes por millón (ppm). La pO₂ en fase gas se midió mediante un sensor UV utilizando el principio de extinción de la fluorescencia por el O₂.

Caracterización de biomasa

Se determinó la fórmula de la biomasa en cada biorreactor y por etapas: se sugiere las siguientes ecuaciones de Rittman y McCarty¹¹:



Donde:

$$T = \%C/12 + \%H + \%O/16 + \%N/14 \quad (5)$$

$$d = 4n + a - 2b - 3c \quad (6)$$

$$n = \%C/12T \quad (7)$$

$$a = \%H/T \quad (8)$$

$$b = \%O/16T \quad (9)$$

$$c = \%N/14T \quad (10)$$

$$C_nH_aO_bN_c \quad (11)$$

Resultados y análisis de datos

Se cuantificó el porcentaje contenido de CHNS en biomasa previamente obtenida de 400 mL del biorreactor, centrifugado a 5000 rpm durante quince minutos y secada a 105 °C durante 24 horas. Se pesaron 2 mg de muestra y 10 mg de catalizador V_2O_5 en cápsulas de estaño para analizar (analizador elemental FLASH 2000 marca *Thermo scientific*), con la finalidad de cerrar los porcentajes de contenido elemental, se cuantificó el porcentaje de cenizas a 550 °C en una mufla durante dos horas, mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso muestra calcinada}}{\text{peso muestra seca}} 100 \quad (12)$$

Se evaluó la tasa de crecimiento específico debido a la síntesis de biomasa, mediante la ecuación de Monod¹¹, en la fase de crecimiento exponencial reportada por Fallahi *et al.*¹² para un cultivo de mezcla microalgal utilizada en el tratamiento de aguas residuales municipales. Se monitoreó diariamente la concentración de biomasa en el FAL, a OD_{685} y OD_{440} respectivamente en espectrofotómetro visible (Genesys-30), se seleccionó esta longitud de onda debido a los picos característicos observados en barridos de cada muestra. Se reportó la concentración como $mg L^{-1}$ a partir de la curva de calibración entre absorbancia y peso de biomasa seca a 105 °C. Se presenta la curva de calibración en el material de soporte.

$$\mu_{syn} = \frac{\ln(X_f - X_i)}{\Delta t} \quad (13)$$

Donde μ_{syn} es la tasa de crecimiento específica debido a la síntesis de biomasa (d^{-1}), X_i y X_f es la concentración inicial y final respectivamente de biomasa activa ($mg L^{-1}$) y t es el tiempo (días).

Desempeño del sistema

En las Figuras 3 y 4 se presenta, la carga orgánica de entrada de CO_2 al FAL producido en el BTF (IL), la capacidad de captura de CO_2 (FC), pO_2 y el cambio del pH respecto al tiempo. El sistema acoplado operó durante 36 días, seccionados en tres etapas como se presenta en la Tabla 2 con las FC y pO_2 promedio respectivas, modificando variables críticas del proceso como: reconfiguración del BTF para la etapa 2 y un aumento en la carga orgánica de EA en el BTF para la etapa 3, además, se inició la etapa dos con la adición de amonio (NH_4) como fuente de nitrógeno extra al BBMM y la adición de fosfatos como amortiguadores de pH, debido a los cambios presentados por el reactor (Figura 4).

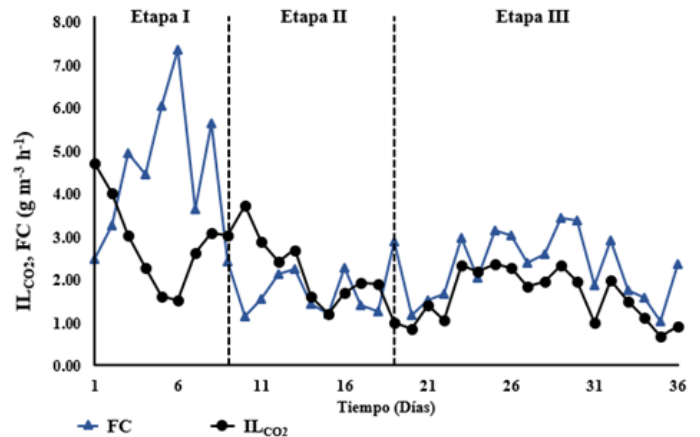


Figura 3. Carga inicial de CO_2 producido en BTF (IL) y capacidad de captura de CO_2 (FC) respecto al tiempo total de operación del FAL. Fuente: elaboración propia.

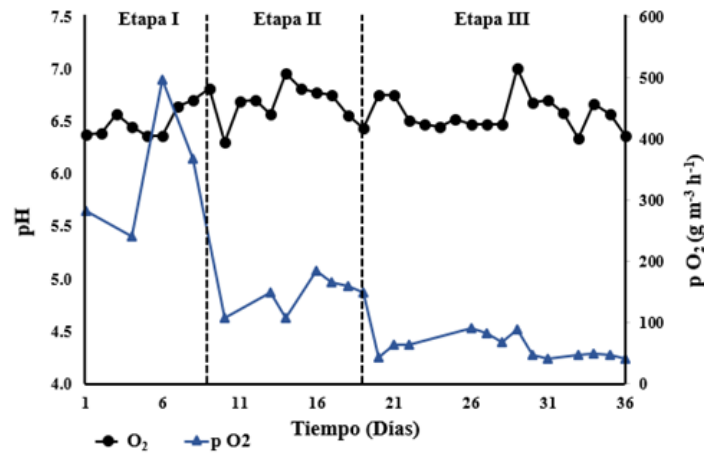


Figura 4. Cambio del pH respecto al tiempo y concentración de O_2 producido pO_2 respecto al tiempo.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Desempeño del FAL en cada etapa operativa

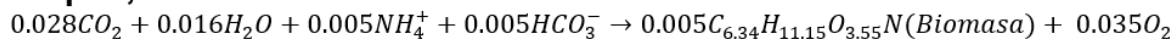
Etapa	Tiempo (Días)	FC ($g\ m^{-3}\ h^{-1}$)	pO_2 ($g\ m^{-3}\ h^{-1}$)
I	0-8	4.74 ± 1.61	347.08 ± 112.91
II	9-18	1.72 ± 0.50	145.42 ± 31.45
III	19-36	2.33 ± 0.76	65.15 ± 29.89

FC: capacidad de captura de CO_2 ; pO_2 : producción de O_2 .

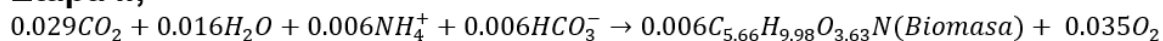
Balance estequiométrico

Se presentan las ecuaciones estequiométricas teóricas para la fórmula empírica de la biomasa mixta en cada etapa operacional, con CO_2 como fuente de carbono y aceptor de electrones, NH_4 como fuente de nitrógeno, así como agua (H_2O) como donador de electrones.

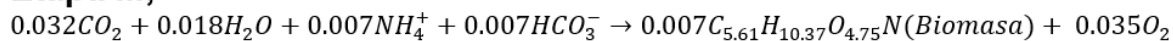
Etapa I;



Etapa II;



Etapa III;



Crecimiento de biomasa en fase exponencial del cultivo mixto

En la Figura 5 se presenta la velocidad de crecimiento específico como μ de síntesis, dada por la pendiente en la ecuación de la recta para el cultivo mixto a OD_{440} en FAL, graficando el logaritmo natural de la concentración de biomasa activa en $mg\ L^{-1}$ ($\ln(X)$) contra el tiempo de operación en la fase de crecimiento exponencial.

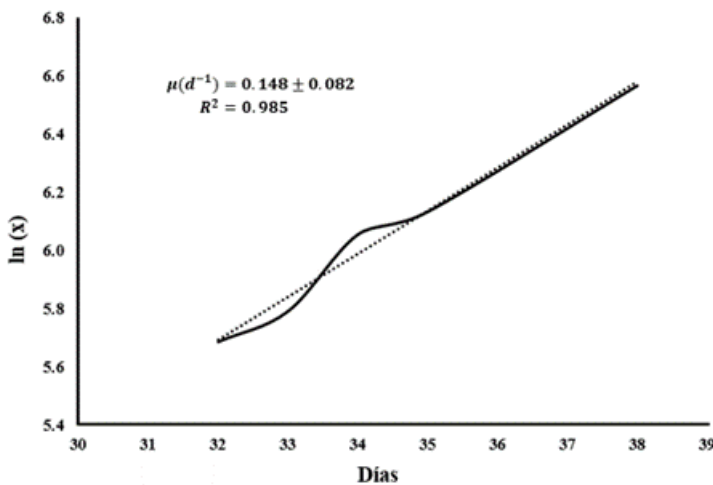


Figura 5. Velocidad específica de crecimiento en la fase exponencial de biomasa en FAL a OD_{440} . Fuente: elaboración propia

Discusión

Desempeño del sistema

Durante las tres etapas operativas, el FAL presentó una alta eliminación del CO_2 producido en el BTF, por la conversión de vapores de EA y aunque la FC es relativamente baja en comparación con Deprá *et al.*¹⁰, con hasta $41.66\ g\ m^{-3}\ h^{-1}$, con cultivos puros como *Scenedesmus obliquus* CPCC05 e IL desde 1040 a $25 \times 10^3\ g\ m^{-3}\ h^{-1}$; comparado con los resultados de Mousavi *et al.*¹³ registra tasas de fijación de hasta 153 , 302 y $278\ g\ m^{-3}\ h^{-1}$ con un cultivo de

Coleastrum sp. SM en FAL o Yaqoubnejad *et al.*¹⁴, que para un FAL registra tasas de fijación de hasta $\sim 41.7\ g\ m^{-3}\ h^{-1}$. Sin embargo, también se registran cultivos puros, con tasas de fijación similares o incluso menores como 0.3 , 0.43 , 0.34 , $3.1\ g\ m^{-3}\ h^{-1}$ con cultivos de *Chlorella sp.*, *Dunaliella sp.*, *Dunaliella salina* DCCBC2, *Euglena gracilis* respectivamente¹⁵.

En la etapa I se registró una aparente diferencia en la FC, respecto a la II y la III, además se observó que la FC aumenta con la disminución en la IL, capturando incluso más que el CO_2 total producido en el BTF; sin embargo, en las etapas II y III, la FC disminuye sin relación aparente con el IL, lo que se puede atribuir a la proliferación de microorganismos no fotosintéticos, por la mezcla de biomasa en el biorreactor y por lo tanto a las diferentes capacidades mixotróficas del cultivo, ya que además, en ausencia de luz, las microalgas utilizan compuestos orgánicos como fuente de energía con una necesidad mínima de luz, mineralizando los COV como EA en CO_2 , capturando en un mismo sistema CO_2 como fuente de carbono inorgánico mientras biodegradan carbono orgánico en forma de COV. En este sentido, este tipo de postratamiento elimina incluso COV en fase gas¹⁶. Sin embargo, aunque la FC disminuye, continúa con un alto porcentaje respecto a la IL, con días de monitoreo donde también se capturaba una pequeña fracción del CO_2 atmosférico.



Por otra parte, la pO_2 registra tasas de producción muy altas respecto a la estequiometría teórica del sistema, en el orden ~ 40 hasta $\sim 496 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$, más cercano a lo que reporta Deprá *et al.*¹⁰ con un cultivo puro de *Scenedesmus obliquus* CPCC05 y altas IL, lo que confirma la variedad del cultivo, ya que al tener estas altas tasas de producción, las tasas de captura tendrían que ser 10 o 100 veces más altas, sin embargo, en este sistema, al tiempo que se captura el CO_2 , la mineralización de COV por organismos no fotosintéticos e incluso microalgas con capacidades mixotróficas produce CO_2 cuantificado a la salida del reactor.

Respecto al pH, el FAL presentó acidificación en los primeros días de operación, causado por la producción de metabolitos ácidos provenientes de la degradación incompleta del EA en el BTF¹⁷, estos metabolitos se deben principalmente a etanol y ácido acético^{4,18}, este último confirmado mediante detección de ácidos orgánicos volátiles por el método de destilación simple¹⁹.

Balance estequiométrico

Las ecuaciones estequiométricas, a través de las tres etapas operativas, presentan aparentemente alta similitud, sobre todo en la relación molar de O_2 producido, sin embargo, la fórmula empírica de la biomasa cambia respecto al tiempo, lo que muestra el cambio en la composición de la biomasa, con posible aumento de microorganismos diferentes a microalgas, disminuyendo el desempeño del reactor, respecto a captura de CO_2 y pO_2 . Estas ecuaciones dan apertura para un mejor diseño de reactores FAL como postratamiento a sistemas de tratamiento biológico de COV.

Velocidad específica de crecimiento de biomasa

Se registra una μ de síntesis ($0.148 \pm 0.082 \text{ d}^{-1}$) similar a la reportada por Fallahi *et al.*¹² para cultivos puros de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus* con 0.15 d^{-1} y menor que para un cultivo de *Nannochloropsis sp.*, así como una mezcla de microalgas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales municipales; esta μ , cercana a cultivos puros, nos indica una adecuada tasa de crecimiento, considerando la mezcla de microalgas/bacterias del consorcio utilizado, ya que en este sentido, variaciones de la μ de síntesis se pueden atribuir a una gran variedad de parámetros, sin embargo, la intensidad de luz, así como la fuente de iluminación, es uno de los más críticos, Delgadillo-Mirquez *et al.*²⁰ no reporta diferencia en la μ con diferentes periodos para un cultivo mixto microalgas/bacterias, sin embargo, cuando aumenta la temperatura de 15 a 25 °C, la tasa de crecimiento específico aumenta ligeramente, en el caso del FAL, la diferente fuente de iluminación podría variar la temperatura del reactor, registrando diferentes tasas de crecimiento; además, Wang *et al.*²¹ reporta que una fuente de carbono orgánico, adicionado a luz LED y nutrientes como el sistema acoplado del presente trabajo, con vapores remanentes de EA, puede ser beneficioso para una mayor eficiencia de crecimiento y rendimiento de biomasa en cultivos mixtos de microalgas.

Conclusiones

En resumen, los cultivos mixtos presentan una solución prometedora y versátil en el tratamiento biológico del aire, a través de sus capacidades metabólicas mixotróficas. Estos cultivos pueden abordar tanto los COV como el CO₂, aunque sus eficiencias individuales pueden no ser tan altas como las de los cultivos puros, sus ventajas económicas y multifuncionales son notables: estos cultivos microbianos se adaptan eficazmente a diversas fuentes de carbono y energía, lo que permite la captura y degradación simultánea de COV y CO₂ en un mismo sistema de tratamiento biológico de aire; además de su capacidad de reducción de emisiones de carbono a la atmósfera, los sistemas de cultivos de microalgas/bacterias tienen un alcance más amplio, desde la refinación de biogás y la remoción de malos olores en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) hasta la producción de compuestos valiosos, utilizados en diversas industrias, estos sistemas ofrecen una solución sostenible y eficiente.

Este trabajo ejemplifica la versatilidad de estos cultivos con el acoplamiento de un FAL como postratamiento a un BTF. Al capturar CO₂ durante el tratamiento de EA, se demuestran eficiencias notables en la reducción de emisiones de GEI y COV, además, aunque las eficiencias pueden variar, según la configuración y el sistema, los resultados de investigación respaldan la capacidad de los cultivos mixtos para abordar desafíos ambientales y generar beneficios económicos.

En última instancia, los cultivos de microalgas ofrecen un enfoque innovador para enfrentar los problemas atmosféricos, su capacidad de adaptación, junto con su habilidad para capturar CO₂ y biodegradar

COV, los convierte en herramientas valiosas en la batalla contra la contaminación atmosférica. Más allá de su contribución a la mitigación de la contaminación, también presentan una oportunidad para la producción sostenible de valiosos productos químicos y biomoléculas, utilizadas en diversas industrias. Con una aplicación escalable y una amplia gama de beneficios, los cultivos de microalgas abren un camino hacia un futuro más limpio y sostenible en la gestión de la calidad del aire.

Referencias

1. AL-DAILAMI, A., Koji, I., Ahmad, I. y Goto, M. Potential of Photobioreactors (PBRs) in Cultivation of Microalgae. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*. [En línea]. Vol. 27 (1). 2022. DOI 10.37934/araset.27.1.3244. ISSN 2462-1943.
2. LIM, Y. A., Chong, M. N., Foo, S.C. e Ilamkoom, I.M.S.K. Analysis of direct and indirect quantification methods of CO₂ fixation via microalgae cultivation in photobioreactors: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [En línea]. Vol. 137. 2021. DOI 10.1016/j.rser.2020.110579. ISSN 1879-0690.
3. FLORES-BARBOSA, A. B., Aizpuru, A., Quijano, G. y Arriaga, S. Evaluation of bioaerosols by flow cytometry and removal performance in a biofilter treating toluene/ethyl acetate vapors. *Chemosphere*. [En línea]. Vol. 251. 2020. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.126404. ISSN 1879-1298.
4. COVARRUBIAS-GARCÍA, I., Aizpuru, A. y Arriaga, S. Effect of the continuous addition of ozone on biomass clogging control in a biofilter treating ethyl acetate a]. Vol. 35 (10). 2018. DOI 10.1089/ees.2017.0521. ISSN 1557-9018.
5. ZHANG, S. y Liu, Z. Advances in the biological fixation of carbon dioxide by microalgae. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. [En línea], Vol. 96 (6). 2021. DOI 10.1002/jctb.6714. ISSN 1097-4660.
6. GATAMANENI, B. L., Orsat, V. y Lefsrud, M. Factors Affecting Growth of Various Microalgal Species. *Environmental Engineering Science*. [En línea]. Vol. 35 (10). 2018. DOI 10.1089/ees.2017.0521. ISSN 1557-9018.
7. ONYEAKA, H., Miri, T., Obileke, K.C., Hart, A., Anumudu, C. y Al-Sharify, Z. T. Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science and Technology*. [En línea]. Vol. 1. 2021. DOI 10.1016/j.ccst.2021.100007. ISSN 2772-6568.
8. ANWAR, M. N., Fayyaz, A., Sohail, N. F., Khokhar, M. F.,



- Baqar, M., Yasar, A., Rasool, K., Nazir, A., Raja, M. U. F., Rehan, M., Aghbashlo, M., Tabatabael, M. y Nizami, A. S. CO₂ utilization: Turning greenhouse gas into fuels and valuable products. *Journal of Environmental Management*. [En línea]. Vol. 260. 2020. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.110059. ISSN 1095-8630.
9. DOBSLAW, D. y Ortlinghaus, O. Biological waste air and waste gas treatment: Overview, challenges, operational efficiency, and current trends. *Sustainability (Switzerland)*. [En línea]. Vol. 12 (20). 2020. DOI 10.3390/su12208577. ISSN 2071-1050.
 10. DEPRÁ, M. C., Dias, R. R., Severo, I. A., De Menezes, C. R., Zepka, L. Q. y Jacob-Lopes, E. Carbon dioxide capture and use in photobioreactors: The role of the carbon dioxide loads in the carbon footprint. *Bioresource Technology*. [En línea]. Vol. 314. Octubre de 2020. DOI 10.1016/j.biortech.2020.123745. ISSN 1873-2976.
 11. RITTMAN, Bruce E.; McCarty, Perry L. *Environmental biotechnology: principles and applications*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. 2001. ISBN: 9781260440591.
 12. FALLAHI, A., Hajinajaf, N., Tavakoli, O. y Sarrafzadeh, M. H. Cultivation of mixed microalgae using municipal wastewater: Biomass productivity, nutrient removal, and biochemical content. *Iranian Journal of Biotechnology*. [En línea]. Vol. 18 (4). Diciembre 2020. DOI 10.30498/IJB.2020.2586. ISSN 2322-2921.
 13. MOUSAVI, S., Najafpour, G. D. y Mohammadl, M. CO₂ bio-fixation and biofuel production in an airlift photobioreactor by an isolated strain of microalgae *Coelastrum* sp. SM under high CO₂ concentrations. *Environmental Science and Pollution Research*. [En línea]. Vol. 25, pp. 30139 - 30150. 2018. DOI 10.1007/s11356-018-3037-4. ISSN 1614-7499.
 14. YAQOUBNEJAD, P., Rad, H. A. y Taghavijeloudar, M. Development a novel hexagonal airlift flat plate photobioreactor for the improvement of microalgae growth that simultaneousl y enhance CO₂ bio-fixation and wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*. [En línea]. Vol. 298. 2021. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.113482. ISSN 1095-8630.
 15. MORALES, M., Sánchez, L. y Revah, S. The impact of environmental factors on carbon dioxide fixation by microalgae. *FEMS Microbiology Letters*. [En línea]. Vol. 365 (3). 2018. DOI 10.1093/femsle/fnx262. ISSN 1574-6968.
 16. RAJENDRAN, L., Nagarajan, N. G. y Karuppan, M. Enhanced biomass and lutein production by mixotrophic cultivation of *Scenedesmus* sp. using crude glycerol in an airlift photobioreactor. *Biochemical Engineering Journal*. [En línea]. Vol. 161. 2020. DOI 10.1016/j.bej.2020.107684. ISSN 1873-295X.
 17. OLIVA, G., Ángeles, R., Rodríguez, E., Turiel, S., Naddeo, V., Zarra, T., Belgiorno, V., Muñoz, R. y Lebrero, R. Comparative evaluation of a biotrickling filter and a tubular photobioreactor for the continuous abatement of toluene. *Journal of Hazardous Materials*. [En línea]. 2019. DOI 10.1016/j.jhazmat.2019.120860. ISSN 1873-3336.
 18. DESHUSSES, M., Johnson, C. T. y Leson, G. Biofiltration of high loads of ethyl acetate in the presence of toluene. *Journal of the Air and Waste Management Association*. [En línea]. Vol. 49 (8). 1999. DOI 10.1080/10473289.1999.10463869. ISSN 1047-3289.
 19. AMERICA PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Method 5560-C "Distillation Method", *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC. 1989. 17th Edition, pp. 5-83 a pp. 5-84.
 20. DELGADILLO-MIRQUEZ, L., Lopes, F., Taidl, B. y Pareau, D., Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture. *Biotechnology Reports*. [En línea]. Vol. 11, pp. 18-26. 2016. DOI 10.1016/j.btre.2016.04.003. ISSN 2215-017X.
 21. WANG, X., Ding, S., Wang, M., Ma, X., Li, H., Zhang, Y., Song, W., Ding, J. y Lu, J. Effects of light source and inter-species mixed culture on the growth of microalgae and bacteria for nutrient recycling and microalgae harvesting using black odorous water as the medium. *Environmental Science and Pollution Research*. [En línea]. Vol. 29 (52). 2022. DOI 10.1007/s11356-022-21293-9. ISSN 1614-7499.

Fecha de recepción

11/10/2023

Fecha de aceptación

30/11/2023

Fecha de publicación

31/01/2024



Propuesta y diseño de estrategias de control para la organización del almacenamiento de materiales peligrosos

Proposal and design of control strategies for the organization of the storage of hazardous materials.

Maria del Carmen Chacón Olivares, Martha Gabriela Gutiérrez Cortés, Daniel Armando Aguirre Ibarra / Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

Resumen

Hoy en día las organizaciones enfrentan retos para permanecer vigentes y competitivas en los mercados, además de ser rentables en los procesos ante todas las regulaciones correspondientes. La empresa objeto de estudio presenta una inadecuada distribución del almacén de acuerdo con la tipología del producto: pinturas y recubrimiento de alto rendimiento para diversas aplicaciones en sectores automotrices, transporte e industrial; se presentan fundamentos teóricos que proporcionan la base de la investigación y las normas nacionales en las cuales se deben cumplir las adecuaciones a realizar. Se realizó una investigación con un enfoque mixto de exploración y descripción que permita a los autores(as) determinar las causas y, basándose en éstas, proponer un sistema de control de inventarios y organización del almacén. Cabe mencionar que solo se presentan avances parciales de la investigación hasta la fase de desarrollo del sistema adecuado a la empresa.

Palabras clave: almacén, sustancias peligrosas, control.

Abstract

Nowadays, organizations face challenges to remain current and competitive in the markets, in addition to being profitable in the processes in the face of all the corresponding regulations.

The company under study presents an inadequate distribution of the warehouse according to the typology of the product; High-performance paints and coatings for various applications in the automotive, transportation and industrial sectors, theoretical foundations are presented that provide the basis for research and national standards in which the adjustments to be made must be met.

An investigation was carried out with a mixed approach of exploration and description that allows us to determine the causes and based on these to propose an inventory control and warehouse organization system. It is worth mentioning that only partial progress of the research is presented up to the development phase of the system suitable for the company.

Keywords: warehouse, dangerous substances, control.



Introducción

En años recientes, para las empresas se ha vuelto fundamental la optimización dentro de sus almacenes, puesto que la función de éstos es clave porque que se encargan de la recepción, resguardo, emisión y control de las mercancías. En México, contribuyen en gran medida a la generación de empleos, siendo pieza fundamental para el fortalecimiento de la riqueza del país¹.

Sin embargo, aunque se tiene conocimiento de esto, no todas las organizaciones lo realizan (principalmente las pequeñas y medianas empresas), ya sea porque no se cuenta con las personas adecuadas para ejecutar un plan de organización, o bien porque se cree que implica un gasto demasiado grande; y si bien es cierto que en algunos casos puede ser así, lo que debe considerarse es que los beneficios posteriores serán mayores, siendo esto el posible parteaguas para que crezcan las pymes (pequeñas y medianas empresas).

De acuerdo con el Comunicado de Prensa 285, emitido en el 2020 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)², un dato importante a mencionar es que, del total de ingresos que generan las empresas y los establecimientos en el país, 14.2 % fueron producidos por los micronegocios (0 a 10 personas ocupadas), 16.1 % por los pequeños (11 a 50 personas), 21.9 % los negocios medianos y 47.8 % por los grandes (251 y más personas).

En esta investigación se presenta en su primera etapa la propuesta del diseño de distribución del almacén de la empresa Axalta, ubicada en el municipio de Irapuato, estado de Guanajuato, con base principal en la agrupación de acuerdo con el método ABC, que permite clasificar los productos en tres diferentes categorías de acuerdo con su valor, rotación y algún otro factor a

considerar, como en este caso el grado de sustancias químicas peligrosas, puesto que no existe una norma o regla que limite las categorías. Adicional a esto se sugiere una identificación de los productos por medio de un código de colores de acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado (SGA), al que la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) señala que es: “Un sistema que utiliza un método armonizado para definir peligros físicos, para la salud y para el ambiente de los productos químicos, clasificar con criterios de peligro y comunicar la información con el fin de utilizar los mismos criterios para definir una sustancia o mezcla como peligrosa para facilitar la comunicación de peligros en el mundo mediante un común”³. Dicha codificación permitirá un reconocimiento efectivo y mejor manejo de las pinturas dentro del almacén, además de que servirá como un modelo de prevención de accidentes, y que tiene relación oficial con la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, la cual tiene como objetivo establecer los requisitos que deben cumplir todos los centros de trabajo que se encuentren en nuestro país, para el uso del sistema armonizado de identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, siendo este el alcance de la presente propuesta.

Objetivo

Diseñar un sistema de control de inventarios y zonificación en el área del almacén.

Objetivos específicos

- Identificar los productos de acuerdo con su valor, rotación y el grado de sustancias químicas peligrosas.
- Analizar la distribución del almacén y ubicación de los productos.

Planteamiento del problema

En la empresa objeto de estudio se identificó mediante una observación en el almacén y entrevistas realizadas al personal de Axalta; y se detectaron deficiencias en la organización además de un mal aprovechamiento del espacio, como lo muestra la Figura 1, lo que dificulta la ubicación de los productos de la empresa y repercute en una insatisfacción de los clientes, de acuerdo con las quejas que se presentan, ya que el proceso del despacho se vuelve más tardado y en ocasiones se niega la mercancía, aunque sí haya existencia del producto solicitado.

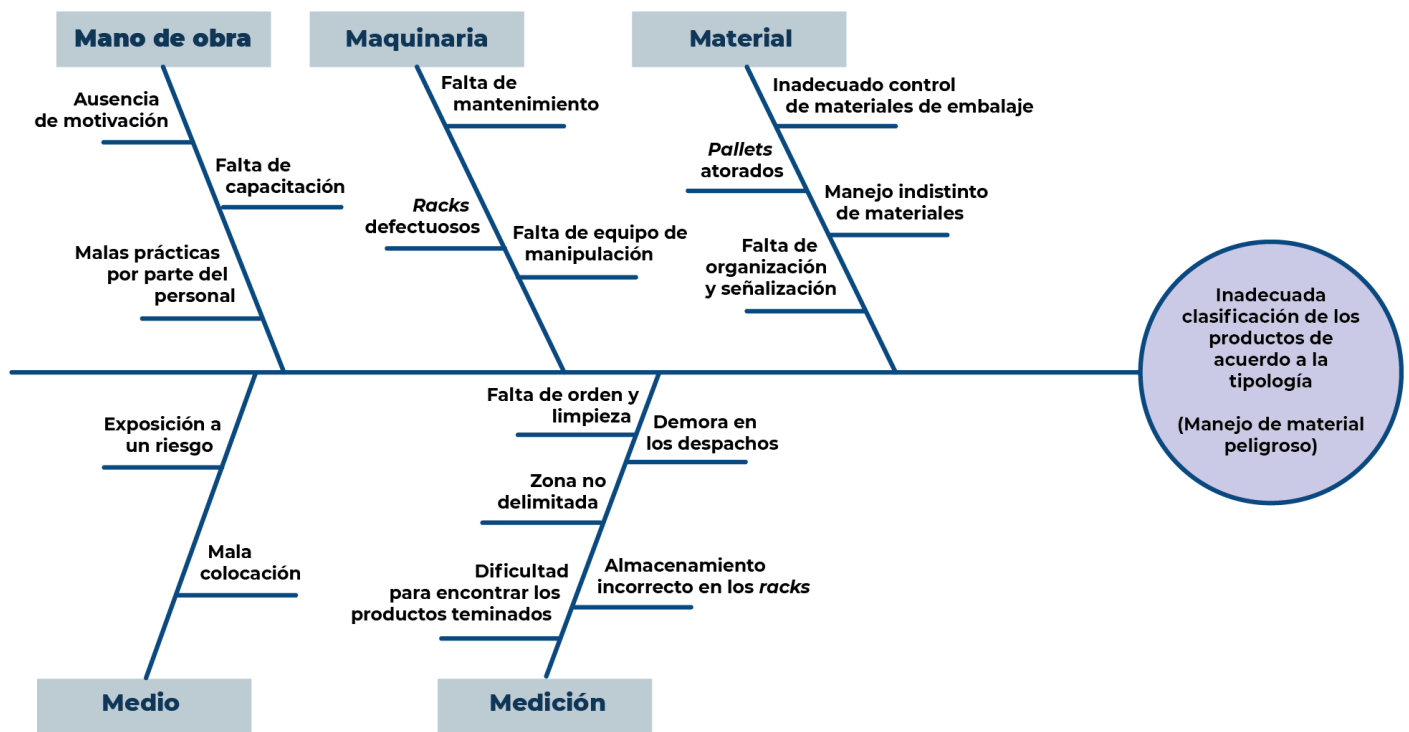


Figura 1. Análisis de las causas en diagrama de Ishikawa (elaboración propia)



Fundamento teórico

Cualquier tipo de proyecto o análisis debe de estar sustentado por términos, leyes o teorías; a continuación se presenta información relacionada con la problemática objeto de estudio: “El diseño de un almacén eficiente requiere de un enfoque metodológico que permita la mejora progresiva del servicio, la reducción de costes y por consiguiente la rentabilidad del capital invertido”⁵.

El diseño del almacén debe considerar las características del movimiento de productos. De acuerdo con Bowersox (2007), tres factores que se determinan durante el proceso de diseño son la cantidad de pisos que debe incluir la instalación, un plan de utilización del espacio cúbico y el flujo de productos⁶. Otro elemento importante a considerar es el manejo de materiales, que es “la acción de levantar, bajar, jalar, empujar, trasladar, transportar y/o estibar materiales, de manera manual o con la ayuda de maquinaria” como lo menciona la Secretaría del Trabajo y Previsión Social⁴, con el objetivo de colocar los materiales en el área asignada, de acuerdo con su clasificación. Cuando se habla de sustancias peligrosas este proceso de manejo se vuelve aún más cuidadoso debido al riesgo que representan.

Además es muy importante, dentro del manejo de sustancias peligrosas, su almacenamiento, que es “la acción de colocar los materiales o contenedores, de modo ordenado, en elementos estructurales, estantes, plataformas o en una estiba, por medio del uso de maquinaria o de manera manual”⁴ ya que, como su nombre lo indica, estos materiales estarán almacenados por un tiempo indeterminado en un sitio, lo que genera un

riesgo permanente para las personas que están en la empresa y en los alrededores. Es por ello que es importante tener en cuenta las consideraciones especiales de manejo y almacenamiento de este tipo de sustancia.

Con base a lo anterior se considera que el diseño de un almacén debe tomar en cuenta diferentes aspectos, como lo son el espacio que se requiere para tener una distribución adecuada (de manera tal que permita realizar manipulaciones), la trazabilidad, la cantidad y tipo de material. La presente investigación abarca dos etapas importantes de un sistema de control para la organización del almacenamiento de materiales peligrosos: una es la clasificación de inventario, que tiene que ver con la forma en que se van a segmentar o dividir los productos de acuerdo con sus características con base a los criterios específicos como costo, nivel de rotación o incluso categorías; por otro lado, hablando de la siguiente etapa, esta se ve conformada en la distribución del almacén y ubicación de los productos. En este caso en concreto se tendrá un enfoque en la clasificación ABC.

Las personas encargadas del almacén deben establecer las clases de inventario de acuerdo a variables relacionadas con la misión y visión de la organización, y sus políticas de abastecimiento, de forma que los esfuerzos e indicadores financieros estén en proporción directa de los mismos.

Heizer y Render (2014) definen a la clasificación ABC como: “El análisis ABC ayudará para tener una clasificación de los productos que tenemos en los inventarios, esta clasificación se divide en tres grupos, lo cual se divide en relación con la cantidad de unidades monetarias anuales que se tienen en relación a cada producto que tenemos en el inventario”⁷.

De acuerdo con los conceptos anteriores se puede definir a la clasificación ABC como un método para dividir los productos en tres categorías (A, B y C), donde a la categoría A se le brindará mayor control y cuidado. Dicha clasificación va de acuerdo con el principio de Pareto, el cual indica que el 20 % de los productos representan el 80 %

de las ganancias, mientras que el 80 % del producto restante solo representa el 20 %.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de cómo se distribuye la proporción de productos en una clasificación ABC.

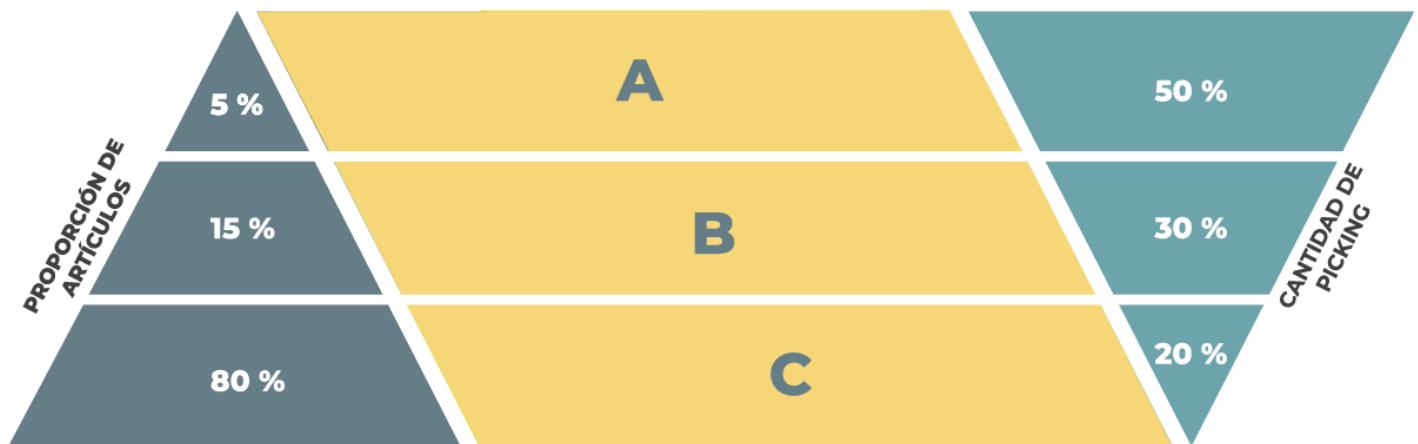


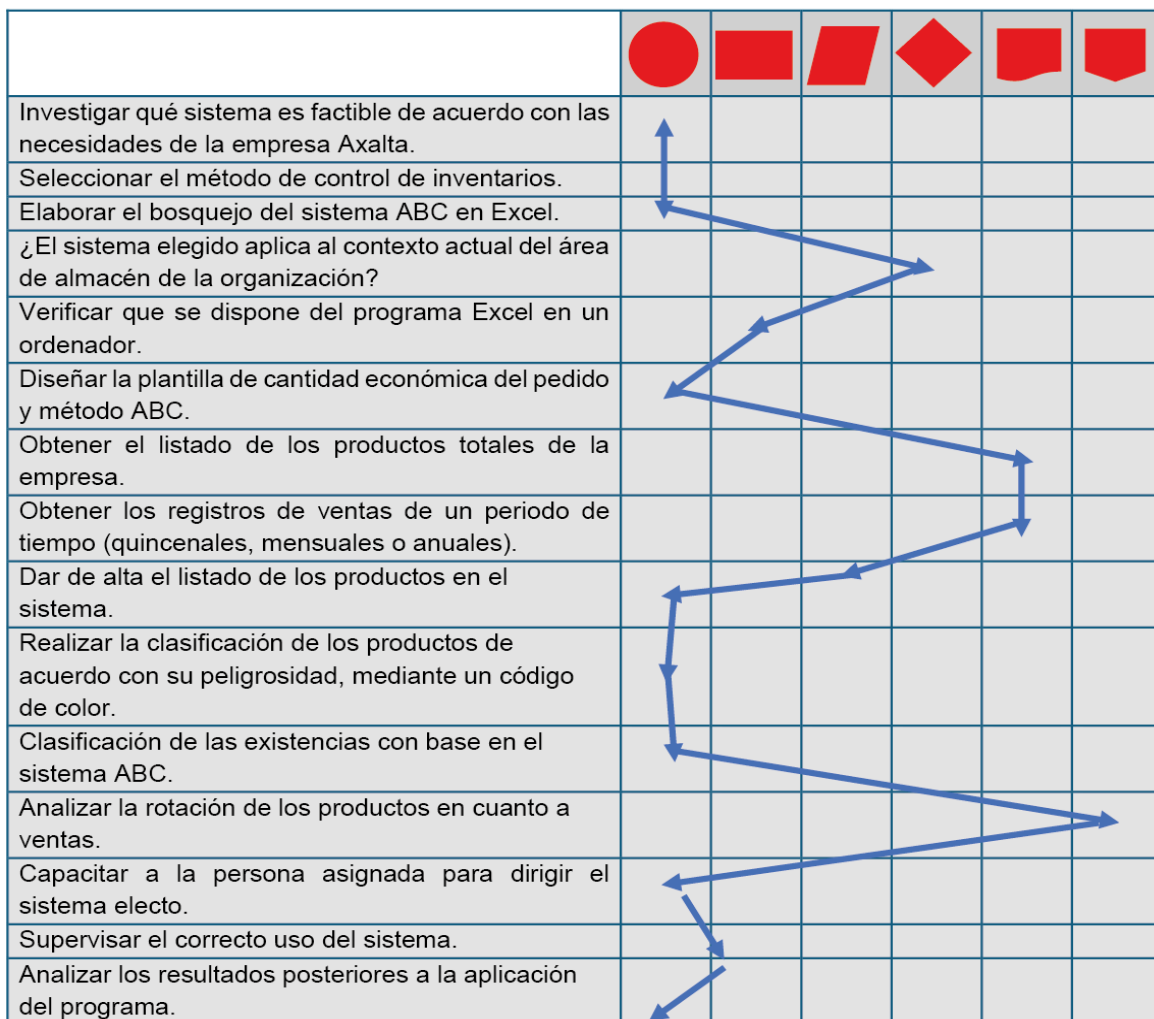
Figura 2. Ejemplo de clasificación ABC en Toyota⁸



Método de trabajo

Para la identificación de la problemática, se utilizó la técnica de observación y el análisis cuantitativo de los datos resguardados en el programa de Excel, y para poder identificar los productos con mayor rotación que se pueden almacenar o agrupar de acuerdo a su grado de peligrosidad y facilitar el acceso a éstos con el objetivo de reducir los accidentes, se decidió utilizar el método ABC.

En primera instancia se realizó un flujograma de los requerimientos para ejecutar en un archivo de Excel el método ABC (ver la Figura 3).



SIMBOLOGÍA			
●	OPERACION	◆	DECISIÓN
■	INSPECCIOÓN	▭	DOCUMENTOS
▱	DATOS	▮	CONECTOR DE PÁGINA

Figura 3. Fases de la implementación del sistema de control de inventarios para la empresa



Posteriormente se dio paso a crear un sistema de ABC en el software de Excel, en donde se usó la fórmula de si (=SI(B2<=0.8,"A", SI(B2<=0.95,"B","C"))) para segmentar las áreas del almacén, siendo "A" la zona que tiene el 80 % de rotación de mercancías, "B" el 15 % y "C" el 5 % restante. Una vez que se usó la fórmula y se comprobó que cumple con su funcionamiento, se

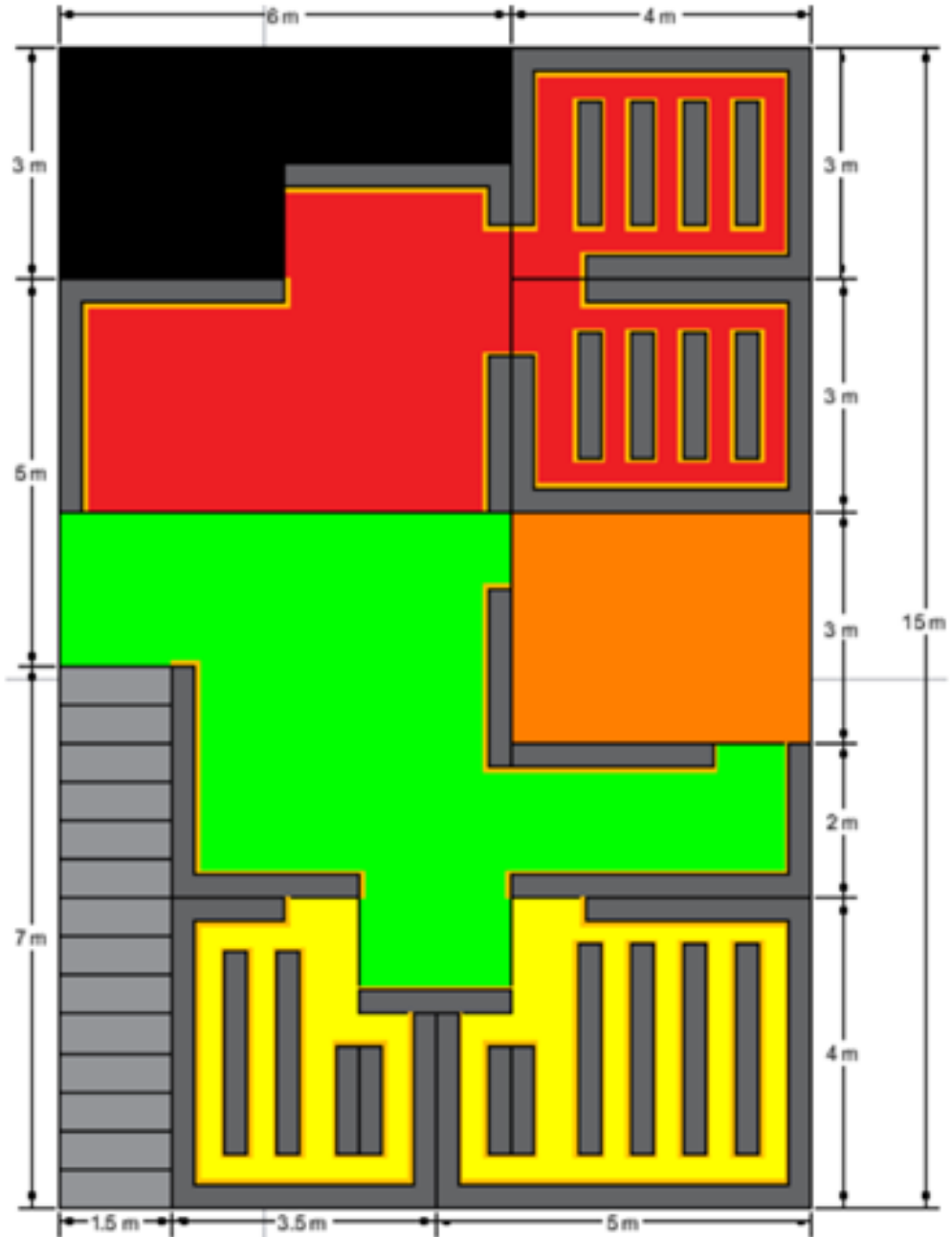
estableció el formato condicional para que cada letra actualice el color de relleno correspondiente a cada valor.

Una vez realizado el ABC en el programa Excel; se muestra la clasificación con base en la participación de los productos dentro del almacén (Tabla 1).

Participación establecida Sistema ABC	Clasificación	Grado de peligrosidad	Muestra	Participación obtenida
0 % - 80 %	A	Bajo	32	10.32 %
Más de 80 % a 95 %	B	Medio	24	7.74 %
Más de 95 % a 100 %	C	Alto	25	81.94 %

Para dar seguimiento al sistema ABC es necesario realizar el diseño del layout de la empresa Axalta, ya que este permitirá identificar y delimitar cada una de las áreas y pasillos y la correcta ubicación de los materiales. A continuación, se muestra el esquema de distribución propuesto, en donde se puede observar que el almacén se encuentra organizado en tres secciones A, B y C, donde cada una hace referencia a

los productos de acuerdo con su rotación y condiciones especiales de almacenamiento. Cabe mencionar que los datos de ventas, por motivos de confidencialidad, no se pueden mostrar. La participación se determinó de acuerdo con el volumen de unidades en el inventario.



Simbología del layout

<ul style="list-style-type: none"> Patio del almacén que no puede ser utilizado. Área para productos tipo B, de acuerdo con el método ABC. Área para oficina. Escaleras. 	<ul style="list-style-type: none"> Área para productos tipo A, de acuerdo con el método ABC. Área para productos tipo C, de acuerdo con el método ABC. Estantes o áreas asignadas para la distribución de los productos dentro del almacén. Líneas amarillas que delimitan los pasillos y zonas por donde debe de transitar el personal de Axalta.
--	--

Figura 4. Propuesta de la organización del almacén.
Elaboración propia en AutoCAD



Posteriormente se identifica, con base en el SGA, el etiquetado de las siguientes sustancias químicas que se manejan:

Tabla 2. Clasificación de acuerdo al SGA. Elaboración propia con base en el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos bajo la NOM-018-STPS-2015⁴

Substancia	Clasificación de acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos	Color correspondiente
Pintura anticorrosiva	Categoría 3 (Líquido inflamable): Peligro físico	Peligro físico
	Categoría 2: Posible carcinogénesis.	Peligro para la salud
Pintura epóxica	Categoría 1: Lesiones oculares graves o irritación ocular. Categoría 2: Corrosión o irritación cutáneas. Categoría 2: Posible carcinogénesis.	Peligro para la salud
	Categoría 3: Líquido inflamable	Peligro físico
Catalizador epóxico	Subcategoría 1B: Corrosión o irritación cutáneas. Categoría 2: Posible carcinogénesis. Categoría 5: Toxicidad aguda, lesiones oculares graves o irritación ocular.	Peligro para la salud
	Categoría 3: Líquido inflamable	Peligro físico
Pintura a base de aceite	Categoría 2: Acuático agudo.	Peligro para la salud
	Categoría 2: Posible carcinogénesis. Categoría 2: Irritación cutánea.	Peligro para la salud
Pintura en aerosol	Categoría 2: Posible carcinogénesis Categoría 2: Irritación cutánea	Peligro para la salud
Thinner	Categoría 3: Líquido inflamable.	Peligro físico

Nota: los colores se refieren al grado de riesgo en su etiquetación, no a la categoría de clasificación dentro del sistema ABC.



Trabajo a futuro

Es importante señalar que en la presente investigación se realizó la identificación y diseño para su implementación, se espera obtener con esto una reducción e impacto en la disminución en el tiempo de atención a la clientela en un 50 %, ya que actualmente su tiempo promedio es de 30 minutos y el aprovechamiento de espacios en un 90 % de la capacidad del área.

También en la siguiente fase se sugiere implantar el protocolo de las normas oficiales correspondientes.

Conclusiones

Después de la investigación realizada se puede determinar que la implementación del sistema ABC y la señalización como guía para el acomodo de los productos, permitirá mejorar la distribución dentro del almacén y lograr que de este manera se tenga un mejor acceso a los productos que cuenten con mayor nivel de rotación, un mejor control sobre éstos, evitando obsolescencia o robos. Debido a lo anterior el diseño del layout está basado en el método ABC, por lo que este brinda una visión de la redistribución del almacén dividido en tres secciones (A, B y C); se asignaron áreas de mayor accesibilidad a los productos con mayor flujo, al considerar espacios que anteriormente se mantenían vacíos sin una razón aparente, esto permitirá mantener sin obstrucciones las áreas de tránsito, para que el personal pueda maniobrar la carga con mayor facilidad.

Referencias

1. Fondo PyMe. *PYMES*. [En línea]. 2023. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2023]. <http://www.fondopyme.gob.mx/fondopyme/2010/segmento.asp?Tema=3>
2. INEGI. *COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 285/20*. [En línea]. 20 de junio de 2020. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2023]. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2020/MYPIMES20.pdf>
3. NOM-018-STPS-2015: *Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo*. Secretaria de Trabajo y Prevision Social. México: Diario Oficial de la Federación. 2015. Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5411121&fecha=09/10/2015#gsc.tab=0
4. SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL. *El Sistema Globalmente Armonizado (GHS) y la NOM-018-STPS-2015*. [En línea.] 01 de febrero de 2018. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2023]. Disponible en https://trabajoseguro.stps.gob.mx/bol079/vinculos/notas_5.html
5. PERDIGUERO Jiménez, M. A. *UF0926: Diseño y organización del almacén*. Málaga, España. IC Editorial. 288 pp. ISBN: 978-84-17224-62-2
6. BOWERSOX, D. *Administración y logística en la cadena de suministro*. 2a. edición. 2007. México. McGraw-Hill. ISBN-13: 978-970-10-6132-9.
7. HEIZER, J. y Render, B. *Principios de administración de operaciones*. Séptima ed. 2009. México. Pearson Educacion.
8. TOYOTA. *Diseño del almacén. Una guía de Toyota*. Unión Europea. Toyota Industries. Disponible en https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/5368214/lead-magnet/guia-toyota-diseno-almacenes-es.pdf?__hstc=64898096

Fecha de recepción

05/07/2023

Fecha de aceptación

12/10/2023

Fecha de publicación

31/01/2024



Plan de mantenimiento predictivo con análisis de tendencias de vibraciones para mejorar la gestión

Predictive maintenance plan with vibration trend analysis to improve management

**Edison Santiago Pozo Sánchez y Oliver García Ramírez /
Universidad Tecnológica Latinoamericana (UTEL)**

Resumen

Una empresa ensambladora de autos presentó problemas en su área de producción, debido a paros prolongados no programados, causados por averías en las máquinas del proceso. En el último año el área de mantenimiento obtuvo un 85 % con respecto al 95 % de los objetivos planteados, lo que representó un 10 % de ineficiencia en su gestión. El presente trabajo se enfocó en dos aspectos clave: el primero fue la identificación de los puntos débiles de la gestión, mediante la aplicación de herramientas de solución de problemas (5 pasos y 5 por qué); en el segundo punto fue la implementación del plan de mantenimiento predictivo, mediante vibraciones, para mejorar los indicadores (KPI) de mantenimiento en la empresa: gracias a lo anterior, se obtuvieron resultados satisfactorios, alcanzando un 92.83 %, porcentaje que representó una mejora sustancial en sus objetivos generales.

Palabras clave: mantenimiento, tendencias de vibraciones, datos, solución de problemas.

Abstract

A car assembly company has problems in its production area due to long unscheduled stops caused by breakdowns in the processing machines. In the last year, the maintenance area obtained 85 % with respect to 95 % of the objectives set, which represents a 10 % inefficiency in its management. The development of this work focuses on two key points: the first one identifies the weak points of the management through the application of problem-solving tools (5 steps and 5 why's), and the second point is the implementation of the predictive maintenance plan is developed through vibrations to improve the indicators (KPI's) of maintenance in the company. Thanks to this, good results are obtained, reaching 92.83 %, representing a substantial improvement in its general objectives

Keywords: maintenance, vibration trends, data, troubleshooting



Introducción

Las empresas ensambladoras de autos en Ecuador tienen definidos sus planes de mantenimiento tomando en cuenta sus operaciones y funcionamiento. Las compañías son conscientes de las pérdidas que se producen cuando una máquina deja de funcionar, razón por la cual invierten mucho dinero en los planes de mantenimiento, para intentar reducir estos problemas.

El departamento de mantenimiento es el encargado de gestionar adecuadamente los recursos provistos por la empresa, en beneficio de la mejora continua y la confiabilidad de los equipos, esto quiere decir que debe garantizar la disponibilidad de las máquinas a la hora de necesitarlas. Pese a tener disponibilidad de recursos, el área de mantenimiento no ha logrado cumplir con los objetivos propuestos, provocando que se reflejen indicadores bajos en su desempeño.

Existen varias estrategias entre las que se puede optar para gestionar adecuadamente las labores de la gestión de mantenimiento, de las cuales se debe realizar un análisis adecuado, para determinar cuál es la mejor opción y aplicabilidad¹.

El tipo de mantenimiento predictivo en los últimos años ha crecido exponencialmente gracias al desarrollo de la tecnología y la veracidad de su aplicación, siendo este el tema de desarrollo del presente trabajo².

Objetivo

Implementar un plan de mantenimiento predictivo, mediante el análisis de tendencias de vibraciones, para mejorar la gestión del departamento mantenedor.

Planteamiento del problema

Los paros no programados en la empresa que fue objeto del presente caso de estudio, son la causa principal de pérdidas económicas, esta situación se puede presentar en diferentes áreas. El área que mayor impacto tiene en los paros no programados es la de mantenimiento industrial, originados por daño y averías en las máquinas. El objetivo propuesto se cumplía en un 85 %, lo que representaba un incumplimiento en los objetivos departamentales.

La importancia de abordar este problema es reducir desperdicios causados por tiempos no productivos y paros no programados, ayudando de esta forma a mejorar la gestión del mantenimiento.

Método de trabajo

Fundamento teórico

A continuación, se definen conceptos técnicos, para una mejor comprensión relacionados con el presente artículo:

- **Mantenimiento:** término referente a mantener el correcto estado funcional del equipo y de las instalaciones³.
- **Vibración:** oscilación de un objeto con respecto a su posición de reposo⁴.
- **Análisis de tendencia:** técnica estadística mediante la cual se puede evaluar una o más variables en un periodo de tiempo, aportando información para la toma de decisiones. Los datos obtenidos provienen de equipos de medición (Vibrachek) que almacenan datos provenientes de los equipos medidos⁵.
- **Avería:** daño que impide el funcionamiento normal de un aparato o máquina¹.
- **Paradas no programadas:** periodo de tiempo durante el cual un proceso productivo se encuentra fuera de servicio de forma imprevista⁴.
- **Motor eléctrico:** máquina eléctrica rotatoria que transforma la energía eléctrica en mecánica.
- **Técnica de los 5 por qué:** técnica sistemática de preguntas iterativas que busca contestar a las interrogantes que se van presentando en el análisis de un problema. Se va llenando hasta encontrar la solución más probable, no es necesario utilizar las 5 preguntas.
- **KPI:** indicador clave de desempeño (*Key Performance Indicator*); son indicadores o valores cuantitativos que se miden, comparan y monitorean en lapsos de tiempo, el objetivo es mantener informado a las y los interesados sobre el desempeño de los procesos y objetivos en una empresa⁴.
- **MTTR:** tiempo medio de reparación (*Medium Time to Repair*), es un indicador de la facilidad en que se puede reparar un equipo, un valor alto puede significar ineficacia en la gestión de mantenimiento y un valor bajo todo lo contrario.
- **Norma ISO 10816-3:** establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. En el presente trabajo se hace énfasis en las zonas estáticas de las máquinas, como son tapas de chumaceras, estatores de motores y bases de sujeción de ambas partes⁶. Más adelante, en la Figura 6, se muestra a detalle la aplicación de la norma al establecer valores de alarmas y valores normales de trabajo.



Diagnóstico

Para identificar adecuadamente los problemas que enfrenta el departamento de mantenimiento, y dado que la empresa dispone de herramientas propias de análisis para determinar la causa raíz de los problemas y darles solución, se ha utilizado la herramienta de los 5 pasos, compuesta por cinco ítems que deben irse completando paulatinamente. A continuación, en la Tabla 1 se detalla la herramienta utilizada.

Tabla 1. Desarrollo de la herramienta 5 pasos. Fuente: elaboración propia

1.1 Descripción del problema:			
Se tienen pérdidas de producción debido a constantes averías en equipos y máquinas.			
1.2 Problema real:			
Paradas no programadas en Planta Pintura			
1.3 Lugar de detección:	Planta Pintura	1.4 Fecha:	1/8/2022
2. Acciones inmediatas			
2.1 - Detección correctiva de anomalías en equipos del área.			
2.2.- Coordinación entre personal de producción y mantenimiento para el apagado de equipos			
2.3.- Reparación de equipos mediante mantenimientos correctivos.			
3. Causa raíz			
No se dispone de un plan de mantenimiento predictivo adecuado.			
4. Solución definitiva:			
ACCIÓN		RESPONSABLE	FECHA
4.1.- Identificar los equipos que más impacto tienen en paradas no programadas.			
4.2.- Determinar el plan de mantenimiento más efectivo para contrarrestar los problemas.			
4.3.- Elegir el equipo adecuado para poner en marcha el plan de mantenimiento predictivo.			
4.4.- Capacitar a todo el personal técnico del área sobre el nuevo plan de mantenimiento.			
5. Punto de corte: 24/02/2022			



La Tabla 2 muestra el desarrollo del análisis de la causa raíz partiendo del problema real de los 5 pasos:

Tabla 2. Desarrollo de la herramienta 5 por qué. Fuente: elaboración propia

Nota: se observa un menor número de interrogantes ya que, como se indicó en el apartado de Fundamento técnico: “Se va llenando hasta encontrar la solución más probable, no es necesario utilizar las 5 preguntas”.

Análisis de la causa raíz	Paradas no programadas en Planta Pintura
¿Por qué...	existen paradas no programadas en Planta Pintura?
Porque...	existen constantes daños y averías en las máquinas, principalmente en ventiladores.
¿Por qué...	existen constantes daños y averías en las máquinas, principalmente en ventiladores?
Porque...	no hay un método adecuado de detección de problemas de forma temprana y oportuna.
¿Por qué...	no hay un método adecuado de detección de problemas de forma temprana y oportuna?
Porque...	no se dispone de un plan de mantenimiento predictivo adecuado.
Causa raíz	No se dispone de un plan de mantenimiento predictivo adecuado.

Para encontrar la causa raíz de los problemas (punto 3 de los cinco pasos) se utilizó la herramienta de Los 5 por qué. Una vez identificada la causa raíz, se elaboraron los planes de acción o planes definitivos para mitigar el problema encontrado.

Diseño de la propuesta

Para el diseño de la propuesta se siguieron los planes de acción definidos en la sección 4 de la Tabla 1.

El primer punto fue identificar los equipos que mayor impacto tuvieron en los paros no programados, para esto se utilizó una herramienta de mantenimiento que calcula la disponibilidad de la maquinaria. En este caso se utilizó el cálculo por MTTR (*Medium Time to Repair*), que identifica los paros más graves en un proceso productivo, es decir, representa cuánto tiempo se tardó el departamento de mantenimiento en reparar una máquina, en medio de un proceso productivo¹. La fórmula de cálculo se expresa así:

$$\text{MTTR} = \text{Tiempo total de mantenimiento} / \text{número de reparaciones} \quad (1)$$



Para poder calcular el valor se debe conocer la cantidad de tiempo que se empleó para reparar los equipos y la cantidad de reparaciones que se realizaron en esta planta, para efectos de ejemplo se consideraron los siguientes datos obtenidos del departamento de mantenimiento:

a) El tiempo total empleado en reparaciones de ventiladores por daño en rodamientos y chumaceras sumó un total de 45 horas/ año, y fueron seis las reparaciones realizadas.

$$\text{MTTR} = 45 / 6 = 7.5 \text{ horas}$$

b) El valor encontrado representa un promedio por paros no programados igual a 7.5 horas, lo que representó un valor demasiado costoso para la producción de una empresa ensambladora de autos.

El segundo punto fue determinar un plan de mantenimiento para contrarrestar los problemas encontrados. Después del análisis realizado, se determinó que la mejor opción era implementar un plan de mantenimiento predictivo, mediante análisis de vibraciones, el cual permite diagnosticar el estado de las máquinas rotativas y sus componentes mientras están funcionando. Gracias a la detección temprana de problemas, se puede planificar el mantenimiento, para evitar daños en plena producción. Este plan encaja perfectamente, ya que los problemas más graves han sido daños mecánicos en rodamientos y chumaceras en los ventiladores de la planta².

El tercer punto fue implementar el plan de mantenimiento, para esto se realizó una búsqueda de las mejores alternativas

en cuanto a equipos de medición de vibraciones, tanto en el mercado nacional como internacional. El equipo de medición que se utiliza actualmente ha sido seleccionado de acuerdo con los requerimientos planteados en cuanto a tecnología y software aplicables en esta empresa.

La herramienta de trabajo elegida fue un analizador de vibraciones mecánicas de dos canales, colector de datos y balanceador. Entre sus principales funciones están la detección de fallos en los rodamientos, malas condiciones de lubricación, desbalanceo, desalineaciones, soldaduras mecánicas y problemas estructurales⁷.

Tabla 3. Equipo de medición de vibraciones. Fuente: elaboración propia a partir del manual del equipo⁷

NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE
Medidor de vibraciones	Vibracheck	Vibracheck 200	5401-01116

Una vez definido el equipo a utilizar se realizó lo siguiente:

- Levantamiento completo de información de cada una de las máquinas a ser intervenidas, entre los datos más relevantes están: potencia del motor, diámetro de los ejes, tipo de base de sujeción, tipo de transmisión de movimiento mecánico, velocidad del motor y ventilador (RPM) y toma de fotos de puntos (Figura 1).

Equipo	Características	Foto del equipo	Foto de placa motor	Foto chumacera/bomba	Velocidad RPM	Potencia KW
VENTILADOR IMPUL COOLING - ELP	MOTOR				1765	22.38
VENTILADOR EXTR. COOLING - ELP	MOTOR				1765	18.95
Diámetro eje motor (mm)	Rodamientos motor		Diámetro eje ventilador-bomba (mm)	Rodamientos chumacera/bomba		
	Lado eje	Lado ventilador		Rod 1	Rod 2	
50	6310 z C3	6210 Z C3	75	SNL 515-612	C 2215	
50	6311 z C3	6211 Z C3	75	SNL 515-513	C 2216	

Figura 1. Extracto del levantamiento de información de equipos. Fuente: elaboración propia en formato corporativo.



- Creación de rutas de medición e ingreso de datos obtenidos en el levantamiento de máquinas en el software del equipo de mediciones de vibración Maintraq Predictive⁸, delimitación de puntos de medición, es decir, los puntos exactos en donde se tomarán los datos (Figura 2).

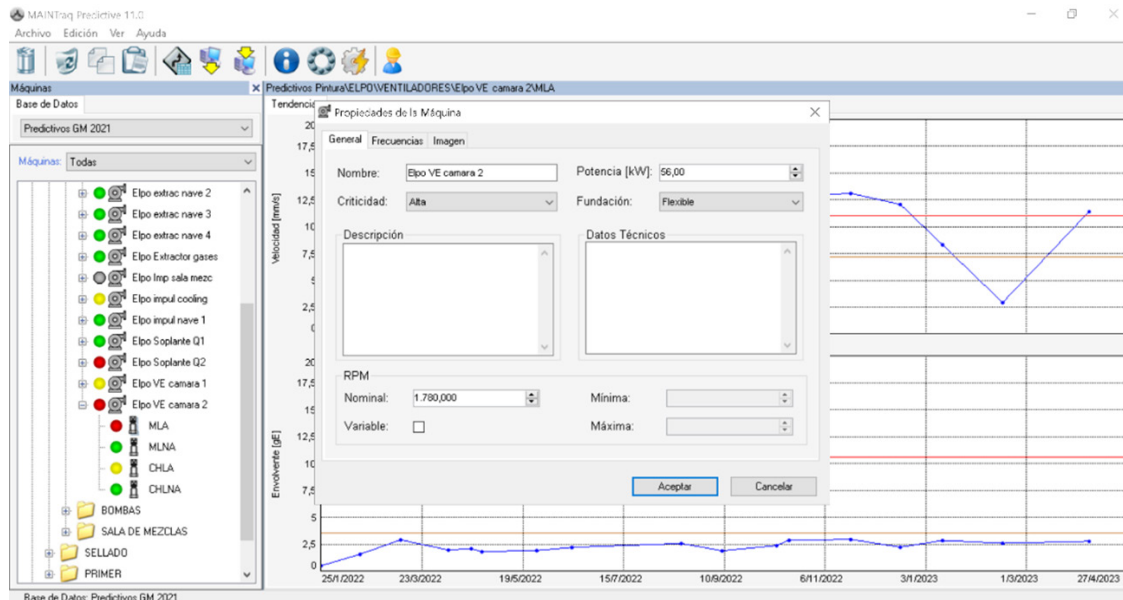


Figura 2. Creación de rutas de medición en el software Maintraq Predictive⁸.

Fuente: elaboración propia, a partir del software del equipo de medición

- Establecimiento de rangos de medición permisibles para un equipo en funcionamiento mediante la aplicación de normas ISO 10816-3, de acuerdo con cada equipo y sus dimensiones⁹ (figuras 3 y 4).

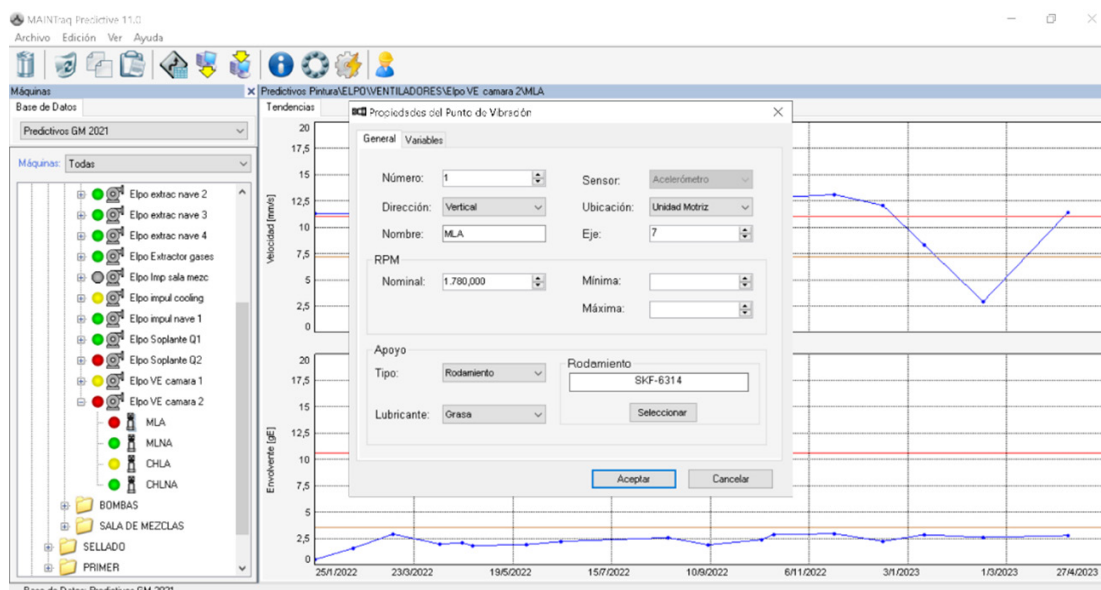


Figura 3. Ingreso de datos de equipos en las rutas de medición en Maintraq Predictive⁸.

Fuente: elaboración propia a partir del software del equipo de medición

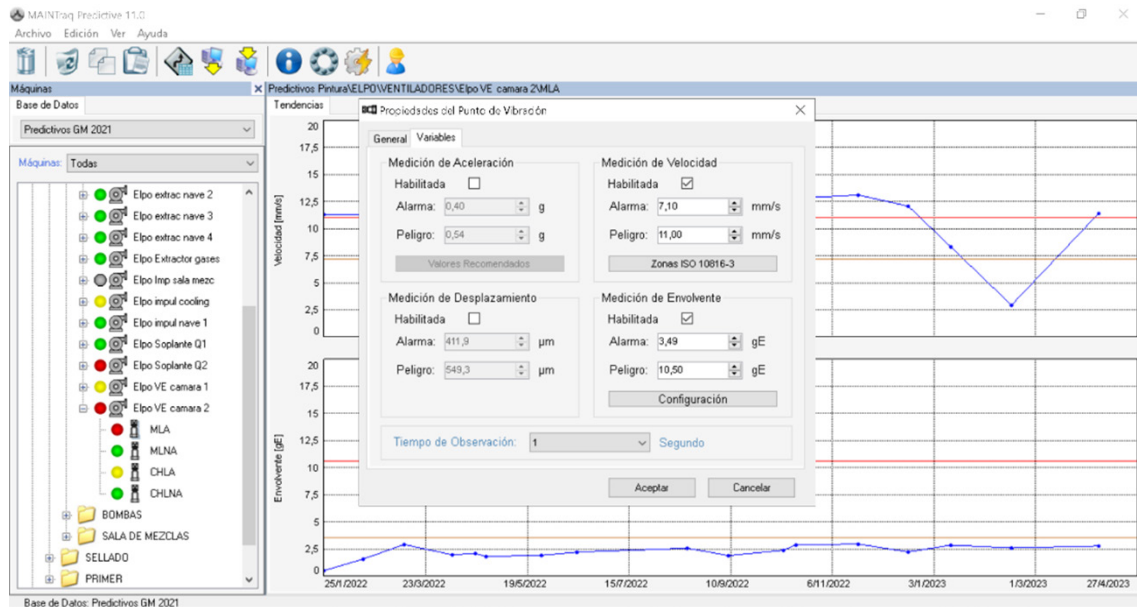


Figura 4. Fijación de alarmas en cada equipo respecto a las mediciones.

Fuente: elaboración propia a partir del software del equipo de medición

- Obtención de las primeras mediciones e información en el equipo y software (Figura 5). Después de varias mediciones en el tiempo se obtiene una tendencia del comportamiento de las máquinas.

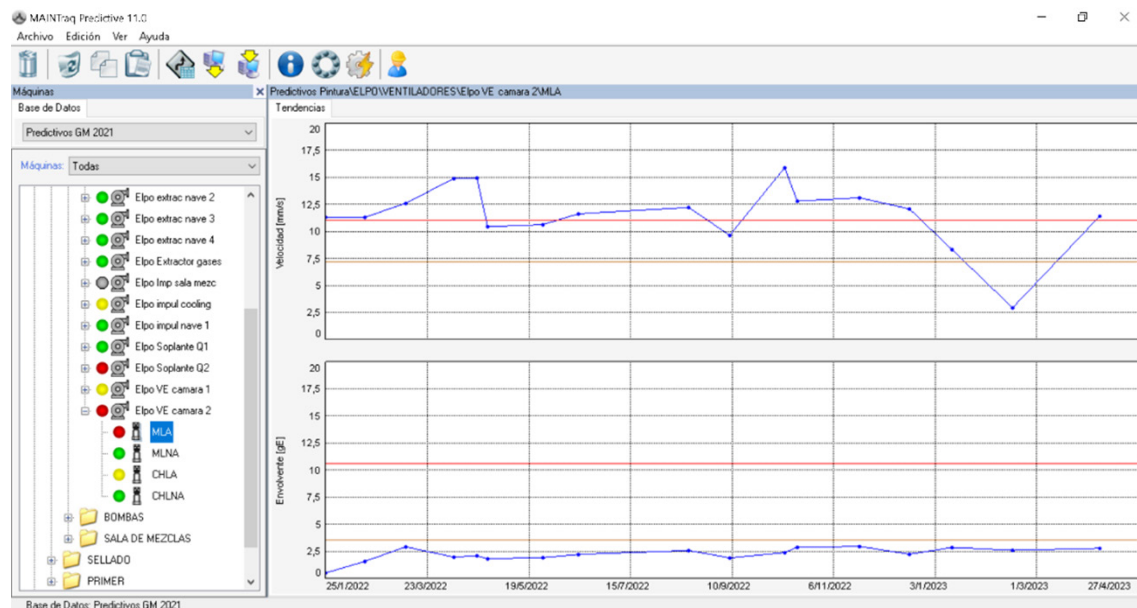


Figura 5. Primeras mediciones de vibraciones en el equipo Vibrachek y análisis de comportamientos de tendencias en el software Maintraq Predictive.

Fuente: elaboración propia, a partir del software del equipo de medición



- Evaluación de los datos obtenidos en el software de seguimiento de tendencias¹⁰. En la Figura 6 se dispone de información que permitió determinar el estado de la máquina, en este caso hay cuatro posibilidades de estado de equipo: A) Máquina nueva, B) Máquina puede operar indefinidamente, C) Máquina no puede operar un tiempo prolongado y D) Máquina no debe operar porque está sufriendo daños. Las tendencias obtenidas en el equipo Vibracheck se comparan con esta tabla y se determina la acción a realizar.

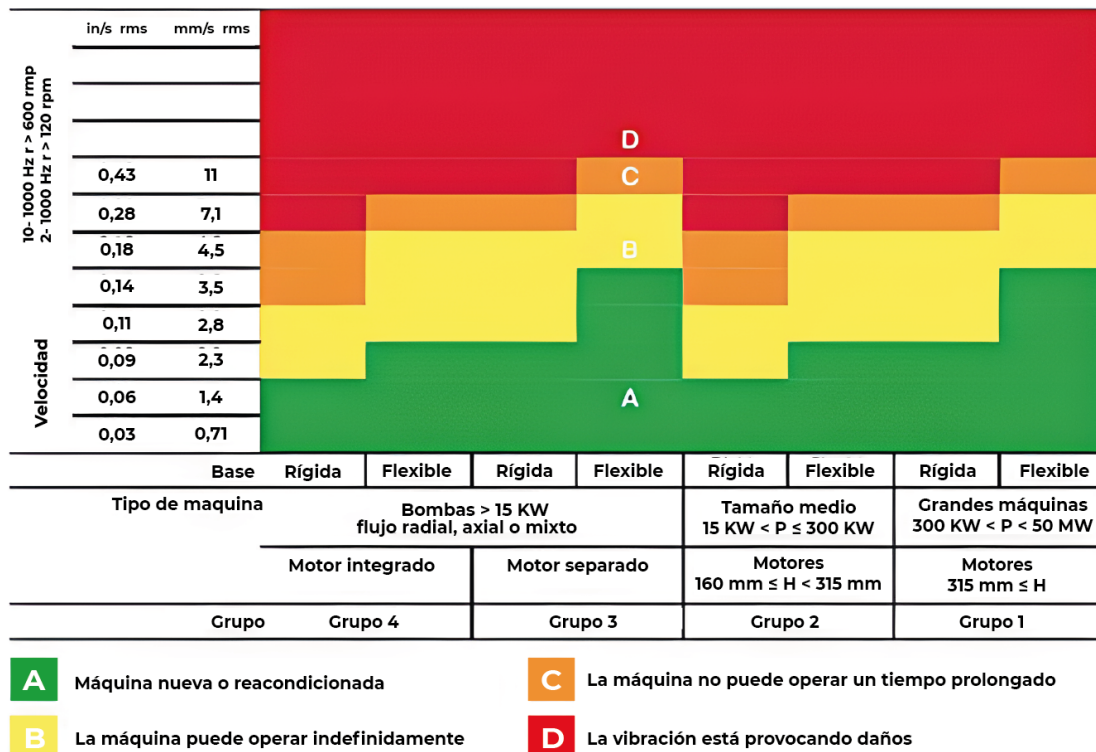


Figura 6. Guía para establecer alarmas en las mediciones de vibración⁹

- Establecimiento de un plan de capacitación para todo el personal técnico que labora en el departamento de mantenimiento del área de trabajo.
- Implementación de rutas de medición periódicas, de acuerdo con el análisis realizado, gracias a los resultados obtenidos se establece que las mediciones se realicen mensualmente.

Metodología para la evaluación de resultados

Es importante medir el desempeño de todas las actividades de mantenimiento, por lo que la empresa objeto de estudio dispone de un sistema de medición y seguimiento de objetivos a base de KPI (*Key Performance Indicator*), estos indicadores deben contener objetivos alcanzables, medibles, relevantes, periódicos, y exactos¹¹. Los KPI de mantenimiento se establecen en porcentajes de cumplimiento, los valores los determina la administración de operaciones de la planta (Figura 7).

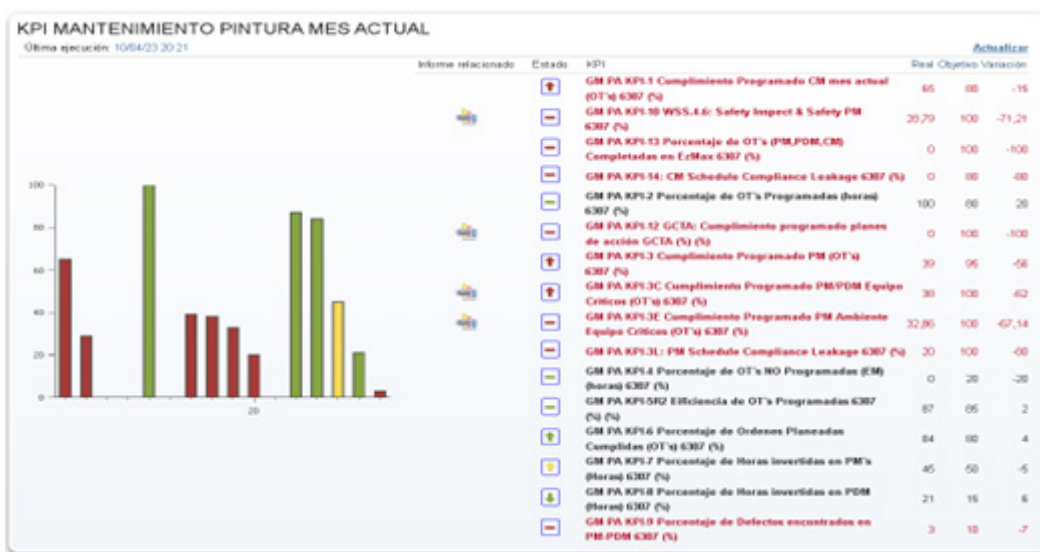


Figura 7. Ejemplos de KPI medidos en porcentajes referentes a un objetivo.

Fuente: Ejemplo tomado del software de gestión de activos Máximo 7.6.¹²

Resultados y análisis de datos

Resultados del diagnóstico

Los resultados anteriores a la implementación del plan de mantenimiento predictivo mostraban bajos indicadores de desempeño, por lo que, tanto los departamento de Mantenimiento como de Producción no cumplían los objetivos propuestos. En la Tabla 4 se aprecian los resultados de los principales indicadores de mantenimiento y sus resultados:

Tabla 4. Resultados de KPI antes del plan de mantenimiento predictivo. Fuente: elaboración propia

	KPI	Real %	Objetivo %	Variación %
1	Cumplimiento de trabajos programados	85	95	-10
2	Cumplimiento de trabajos preventivos	80	95	-15
3	Porcentaje de trabajos de mantenimientos correctivos	110	95	15
4	Productividad en procesos de pintura	80	95	-15
5	Cumplimiento de objetivos en MTTR	70	95	-25
6	Horas invertidas en trabajos de mantenimiento	115	95	20
	Promedio de cumplimiento de objetivos	85	95	-10



En los resultados se aprecia que, en la mayoría de los casos, no se alcanzan los objetivos propuestos, incluso el último KPI sobrepasa los objetivos, no es un buen resultado el hecho de sobrepasar el objetivo, ya que esto significa que se requirieron más horas de trabajo para realizar

mantenimientos correctivos, siendo estos gastos adicionales. En definitiva, existe un 85 % de cumplimiento con respecto al 95 % de los objetivos propuestos.

Resultados después de implementada la propuesta

Después de implementar el plan de mantenimiento predictivo, mediante vibraciones, se logró obtener el 92.83 % de cumplimiento. En la tabla 5 y 6 se aprecian los resultados.

Tabla 5. Resultados obtenidos (KPI) después de la implementación del plan propuesto. Fuente: elaboración propia

	KPI	Real %	Objetivo %	Variación %
1	Cumplimiento de trabajos programados	92	95	-3
2	Cumplimiento de trabajos preventivos	93	95	-2
3	Porcentaje de trabajos de mantenimientos correctivos	97	95	2
4	Productividad en procesos de pintura	90	95	-5
5	Cumplimiento de objetivos en MTTR	90	95	-5
6	Horas invertidas en trabajos de mantenimiento	95	95	0
	Promedio de cumplimiento de objetivos	92.83	95	-2.17

El cálculo del valor de KPI real se determinó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Cantidad propuesta (órdenes de trabajo, porcentajes, horas, etc)} * 100}{\text{Cantidad realizada (órdenes de trabajo, porcentajes, horas, etc)}} = \%$$

Los objetivos por alcanzar son determinados por la empresa de acuerdo con variables propias y propuestas por la gerencia.

Finalmente se realizó un análisis por MTTR para evidenciar la mejora obtenida después de la implementación del plan de mantenimiento predictivo por vibraciones. El tiempo total empleado en reparaciones de ventiladores por daño en rodamientos y chumaceras ha sumado un total de 10 horas/año, y cinco reparaciones realizadas.

Antes de la implementación del plan de mantenimiento propuesto se consumían 7.5 horas en la reparación de equipos, ahora son 2, lo cual indica que se obtuvo una mejora sustancial en la gestión del mantenimiento.

$$\text{MTTR} = 10 / 5 = 2 \text{ horas.}$$

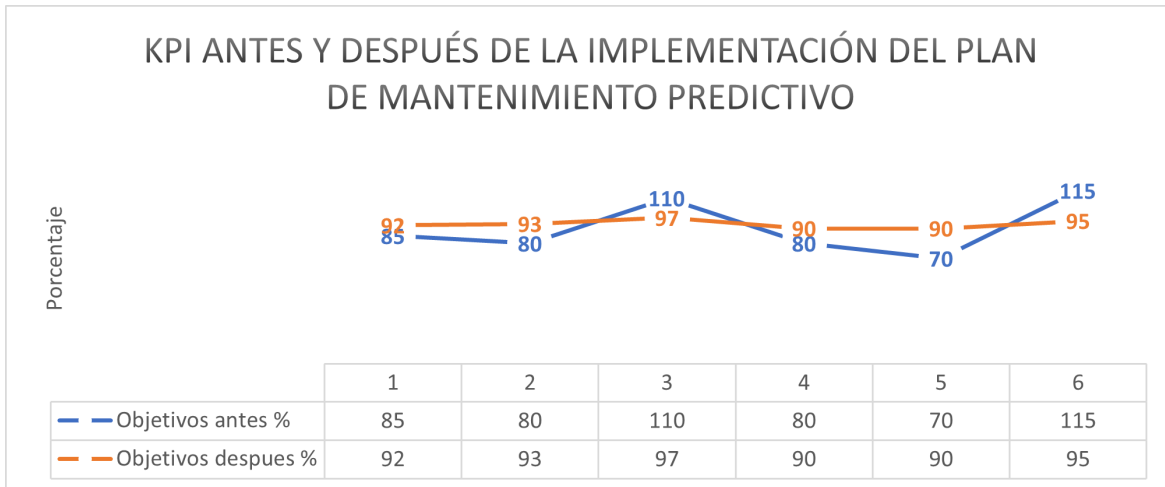


Figura 8. Resultados antes y después de la implementación del plan de mantenimiento predictivo. Fuente: elaboración propia

Discusión

La gestión del mantenimiento en toda empresa es indispensable, por lo que se necesita invertir en ello. Es importante entender que una buena planificación y gestión del mantenimiento permite implementar estrategias para la solución de problemas, equilibrando costos de inversión.

Una de las estrategias que más impacto tiene en los resultados del departamento es la innovación tecnológica. En virtud del desarrollo de la tecnología, en el mercado se pueden conseguir analizadores y software que facilitan el análisis de vibraciones. Un equipo demasiado costoso o un software demasiado complicado no es garantía de obtener buenos resultados, lo importante es hacer un estudio interno de la empresa y del área, para determinar la mejor opción aplicable.

El análisis de tendencias es otro factor importante a la hora de tomar decisiones, gracias a la colección de datos, mediante

el equipo de vibraciones, los valores históricos y su correcto análisis, le ha permitido a la gestión de mantenimiento anticiparse tempranamente a daños en los equipos, logrando una mayor vida útil en las máquinas, gracias al mantenimiento preventivo, lo que permite obtener una mayor productividad al reducir paros no programados.

Con la implementación realizada se lograron minimizar los problemas relacionados con daños mecánicos en máquinas rotativas, estas eran las que más impacto negativo tenían en la productividad de la empresa.

Conclusiones

En general, debido a la adecuada gestión y plan de mantenimiento implementado se mejoraron los indicadores de desempeño y productividad, obteniendo lo siguiente:

- Reducción de la cantidad de paros no programados en los procesos productivos.



- Mejora en los indicadores de confiabilidad en el departamento de mantenimiento industrial.
- Optimización de recursos tanto materiales como humanos en la intervención de los equipos.
- Obtención de datos históricos de las máquinas en la planta industrial para análisis y toma de decisiones.
- Reducción de mantenimientos correctivos.
- Mejora en los indicadores globales por MTRR de mantenimiento pasando de 7.5 horas a 2 horas.

Referencias

1. MONTILLA MONTAÑA, Carlos Alberto. *Fundamentos de mantenimiento industrial*. [En línea]. Pereira: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira, 2016. Disponible en <https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/fc4afec7-7a16-4e90-8c06-6079f7568740/download> ISBN 978-958-722-238-8.
2. MARINELLI, Igor. *Mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo - TRACTIAN*. [En línea]. s. f. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2023]. Disponible en <https://tractian.com/es/blog/diferencias-entre-el-mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo-la-guia-definitiva-2021>
3. OLARTE, William; Botero, Marcela y Cañón, Benhur. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia et Technica*. [En línea]. Vol. 2 (45): 223-226. Agosto 2010. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2023]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4546591> ISSN 0122-1701.
4. GÓMEZ DE LEÓN, Félix Cesáreo. *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia: Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia. 1998. ISBN 84-8371-008-0.
5. RUS ARIAS, Enrique. Análisis de tendencia. *Economipedia*. [En línea]. 01 de diciembre de 2021. [Fecha de consulta; 30 de marzo de 2023]. Disponible en <https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-tendencia.html>
6. SAAVEDRA, Pedro Nelson. *Evaluación de la severidad vibratoria*. Febrero de 2002. Universidad de Concepción: Laboratorio de Vibraciones Mecánicas. Chile.
7. IDEAR. *Vibracheck 200*. Analizador de vibraciones mecánicas en dos canales. [En línea]. Abril de 2019. [Fecha de consulta: 27 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://www.idear.net/Especificaciones/Vibracheck-200.pdf>
8. MAINTtraq Predictive. V 11.0 [Software para mantenimiento predictivo]. IDEAR. 27 de octubre de 2020. <http://idear.net/Software/>
9. PENKOVA VASSILEVA, María. Mantenimiento y análisis de vibraciones. *Ciencia y Sociedad - República Dominicana*. [En línea]. Vol. 32 (4): 668-678. Diciembre 2007. [Fecha de consulta: 27 de agosto de 2023]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/870/87032407.pdf> ISSN 0378-7680.
10. MAINTraq Reader. V 10.0 [Software para ver mediciones en formato .DSF y elaborar informes]. IDEAR. 30 de julio de 2020. <http://idear.net/Software/>
11. SLADOGNA, Mónica G. *Productividad: definiciones y perspectivas para la negociación colectiva*. [En línea]. 2017. RELATS: Red Eurolatinoamericana de Análisis sobre Trabajo y Sindicalismo. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2023]. Disponible a través de <https://biblio.unaj.edu.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8750>
12. Máximo Asete Management. V 7.6.0. [Software de gestión de activos]. IBM. 05 de marzo de 2021. <https://www.ibm.com/docs/en/mam/7.6.0?topic=overview-whats-new-in-maximo-asset-management-76>

Fecha de recepción

10/09/2023

Fecha de aceptación

08/11/2023

Fecha de publicación

31/01/2024

La Revista Reacción actúa como mero difusor, por lo que el contenido y opiniones del artículo son responsabilidad exclusiva de los autores y autoras, y no representan la opinión oficial de la Revista Reacción, ni de la Universidad Tecnológica de León.

La revista adquiere los derechos patrimoniales de los artículos solo para difusión sin ningún fin de lucro. Las personas que utilicen la información contenida en la revista para su difusión están obligadas a referenciar la revista como fuente de información.

REA>XION

Ciencia y tecnología universitaria

latindex

Google Académico

 **Actuality Iberoamericana**
Indice Internacional de Revistas


PERIÓDICA
Indice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias


UTL